

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

Tomáš Hranický

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

Řídicí systém pro souřadnicový zapisovač
Control System for Dataplotter

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Hranický

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2601R004 Měřicí a řídicí technika

Téma:

Řídicí systém pro souřadnicový zapisovač
Control System for Dataplotter

Zásady pro vypracování:

1. Obecné požadavky pro činnost souřadnicových zapisovačů.
2. Návrh a realizace řídicí a výkonové elektroniky pro souřadnicový zapisovač.
3. Implementace firmware pro podporu jazyka HPGL (HPGL/2).
4. Realizace demonstrační aplikace.
5. Zhodnocení dosažených výsledků s ohledem na využití řídicího systému pro přípravu plošných spojů.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. HRBÁČEK, J. *Moderní učebnice programování jednočipových mikrokontrolérů PIC. 1. díl, První krůčky při tvorbě aplikace.* 1. vyd. Praha: BEN-technická literatura, 2004. 95 s. ISBN / EAN 80-7300-136-5 / 9788073001360.
2. *The Hp-GI/2 and Hp Rtl Reference Guide: A Handbook for Program Developers (Hewlett Packard).* 2nd ed. [s.l]: Addison-Wesley, 1993. 388 s. ISBN-10: 0201633256. ISBN-13: 978-0201633252.
3. DUTRA, C. B. S. - MENDONCA, F. K. - SOUSA, G. C. - BONACORSO, N. G. Retrofitting of a plain table plotter for printed circuit boards prototyping. In *Power Electronics Conference, 2009. COBEP '09. Brazilian Sept. 27 2009-Oct. 1 2009, Bonito-Mato Grosso do Sul, Brasil.* [s.l]: IEEE Xplore, 2009. s. 1027-1032. ISSN: 2175-8603. ISBN 978-1-4244-3369-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a zdroje, z nichž jsem čerpal.“

V Ostravě dne 1. května 2011

_____ .

Poděkování

Je mou milou povinností poděkovat všem, kteří mi svými cennými radami a vlastními zkušenostmi pomohli dovést práci ke zdárnému konci, a neméně také těm, již s pochopením akceptovali mé mnohdy zdánlivě nekonečné trávení času nad touto prací, především své přítelkyni.

Tomáš Hranický

Abstrakt

Cílem této práce je vývoj moderního řídicího systému pro po elektronické stránce zastaralý souřadnicový zapisovač, grafickou jednotku XY4140, z produkce bývalého státního podniku Laboratorní přístroje Praha.

Důležitými realizačními součástmi jsou především šestnáctibitový mikrokontrolér PIC jako řídicí jednotka, výkonové budiče krokových motorků, bluetooth modul pro bezdrátovou sériovou komunikaci s nadřazeným systémem, v tomto případě s osobním počítačem.

Práce popisuje a zvažuje několik možných variant celkového řešení, zejména však následně obsahuje popis vývojového a realizačního postupu zvoleného způsobu rekonstrukce grafické jednotky, ve výsledku pak zhodnocení prováděných zkušebních vykreslování skriptů založených na základních HPGL příkazech.

V práci je dále zahrnut obecný přehled v oblasti souřadnicových zapisovačů. V závěru práce je pak krátce zhodnocena míra možnosti využití tohoto řešení pro výrobu desek plošných spojů.

Abstract

The target of this bachelor work is development of control system for dataplotter XY4140 from production of ex state enterprise Laboratorní přístroje Praha. The original electronic of this dataplotter is obsolete nowadays.

The most important components of realization are 16-bit microcontroller PIC as control unit, power drivers of step motors, bluetooth module for wireless communication with supreme system, in this case it's PC.

There is described and analysed several variants of solving the problem of this work. Mainly there is also description of development and realisation progress of the dataplotter's reconstruction in this text. Finally there is review of all dataplotter's functions by demonstration HPGL scripts.

In this text there is also summary of dataplotters' principles. At the end of work there is shortly reviewed possibility to use the results of this work for making of printed circuits.

Klíčová slova

bluetooth, grafická jednotka, assembler, mikrokontrolér, PIC, plotter, sériová komunikace, XY4140

Key words

bluetooth, dataplotter, assembly language, microcontroller, PIC, plotter, serial communication, XY4140

Seznam použitých symbolů a zkratek

Bd	Baud, jednotka modulační rychlosti, u sériové komunikace 1 Baud = 1 bit za sekundu
CNC	Computer Numeric Control (číslicové řízení počítačem)
HPGL	Hewlett-Packard Graphics Language
ICSP	In Circuit Serial Programming (programování součástky přímo v daném zapojení)
JSA	Jazyk symbolických adres
LED	Light-emitting diode (svítivá dioda)
Mi/s	Megainstrukce za sekundu, jednotka rychlosti běhu mikrokontroléru, 1 Mi/s = jeden milión instrukcí za jednu sekundu
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (tranzistor řízený polem s hradlem realizovaným vrstvou kovu odděleným od polovodiče dielektrickou vrstvou oxidu daného polovodiče) [7]
N-MOSFET	Tranzistor MOSFET s kanálem typu N.
PC	Personal Computer (osobní počítač)
PDA	Personal Digital Assistant (osobní digitální asistent)
PWM	Pulse Width Modulation (pulzně-šířková modulace)
RAM	Random-access memory (paměť s přímým přístupem)
SMD	Surface Mount Device (součástka pro povrchovou montáž)
TTL	Transistor-transistor logic (tranzistorově tranzistorová logika)
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)

Obsah

1	ÚVOD	1
2	TEORETICKÝ ROZBOR	2
2.1	OBECNÉ VLASTNOSTI SOUŘADNICOVÝCH ZAPISOVAČŮ	2
2.2	HISTORIE GRAFICKÝCH JEDNOTEK XY41XX	3
2.3	POPIS PŮVODNÍHO STAVU ZAŘÍZENÍ	3
2.4	NÁVRHY MOŽNÝCH ŘEŠENÍ	6
2.5	VÝBĚR A ROZVAHA VHODNÉHO ŘEŠENÍ A SOUČÁSTEK K REALIZACI	10
2.5.1	<i>Rozvaha konstrukčního řešení</i>	<i>10</i>
2.5.2	<i>Výběr součástek pro novou elektroniku</i>	<i>11</i>
3	FYZICKÁ REALIZACE	13
3.1	ANALÝZA A ODZKOUŠENÍ GRAFICKÉ JEDNOTKY V PŮVODNÍM STAVU	13
3.2	MECHANICKÉ ÚPRAVY	13
3.3	ÚPRAVA STÁVAJÍCÍ A VÝROBA NOVÉ ELEKTRONIKY	16
3.4	OŽIVENÍ ELEKTRONIKY	18
4	PROGRAMOVÁ REALIZACE, DODATEČNÉ FYZICKÉ ÚPRAVY A PRŮBĚŽNÉ TESTOVÁNÍ	19
4.1	PROGRAMOVÁNÍ MIKROKONTROLÉRU	19
4.1.1	<i>Struktura kódu programu pro mikrokontrolér</i>	<i>19</i>
4.1.2	<i>Ovládací panel na grafické jednotce</i>	<i>19</i>
4.1.3	<i>Řízení cívek krokových motorků</i>	<i>20</i>
4.1.4	<i>Základní podprogram pro pohyb po ploše výkresu</i>	<i>21</i>
4.1.5	<i>Možnosti automatického kreslení dalších rovinných útvarů</i>	<i>22</i>
4.2	KONEČNÁ VOLBA A REALIZACE KOMUNIKAČNÍHO ROZHRANÍ	24
4.3	SOUDOBY VÝVOJ PROGRAMŮ PRO MIKROKONTROLÉR A WINDOWS	24
4.3.1	<i>Řízení datového toku komunikačním rozhraním</i>	<i>24</i>
4.3.2	<i>Implementace nezbytných HPGL příkazů</i>	<i>25</i>
4.3.3	<i>První, testovací verze programu pro Windows</i>	<i>25</i>
4.3.4	<i>Prvotní testování s HPGL skripty</i>	<i>25</i>
4.3.5	<i>Dodatečná úprava buzení krokových motorků</i>	<i>26</i>
4.3.6	<i>Dokončení programů pro mikrokontrolér a pro Windows</i>	<i>27</i>
4.4	SKRIPT PRO ÚPRAVU HPGL SOUBORŮ	28
5	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	29
6	ZÁVĚR	30
7	POUŽITÁ A NASTUDOVANÁ LITERATURA	31
8	SEZNAM PŘÍLOH	32

1 Úvod

Tato práce je vykonávána na přelomu let 2010 a 2011, cca čtyři desetiletí od počátku výroby tzv. osobních počítačů a 30 let od ustálení významu tohoto výrazu v takovém významu, jak jej používáme dosud. I přesto, že klasické stolní počítače dnes již v osobním používání nahrazují spíše notebooky, netbooky, PDA a podobná přenosná zařízení menších rozměrů, jejichž výrobci se jim snaží implementovat co nejvíce funkcí „velkých“ osobních počítačů, stále počet těchto zařízení celkově ve vyjádření na osobu v domácnostech roste. Ruku v ruce s tímto trendem by měl při nejmenším stagnovat rozsah dostupných tzv. periferních zařízení připojitelných k osobním počítačům a podobnými funkcemi disponujícím zařízením a tím výrazně rozšiřujících jejich využitelnost.

Nejběžnějším a v drtivé většině rovněž jediným obrazově výstupním zařízením mimo monitor je tiskárna, nejčastěji inkoustová, případně laserová. A to i v situaci, kdy pořizovací cena mnoha v běžné domácnosti dostačujících strojů je překonávána následnými provozními náklady v podobě cen tiskových kazet. Pro tisk bitmapové grafiky jsou tiskárny nenahraditelné, naproti tomu pro výstup z nejrůznějších technických rýsovacích programů či „tisk“ libovolné vektorové grafiky, která vůbec nemusí mít technický podtext, je mnohem přirozenějším zařízením souřadnicový zapisovač neboli plotter.

Plottery, ať už kreslicí či řezací nebo frézovací, mají své nezastupitelné místo v profesionálních aplikacích kancelářských, ba dokonce průmyslových, v podobě CNC strojů. Naopak nalézt kreslicí plotter dostupný pro domácí neprofesionální využití, a to nejen přiměřenými rozměry a funkčními možnostmi, ale také pořizovacími a provozními náklady, je dnes velice obtížné. Následující kapitoly jsou věnovány právě jednomu z takovýchto zařízení, jež se i přes svou na tehdejší i dnešní dobu mechanickou dokonalost ve své uživatelské kategorii nedočkalo plnohodnotného nástupce použitelného v dnešním počítačovém světě. Budou zde popsány možnosti a postup rekonstrukce stále ještě mezi vědomými sběrateli i náhodnými majiteli dostupného souřadnicového zapisovače XY4140 v jeho 23 let staré fyzické podobě pro možnost využít jej ve světě dnešních počítačových periferních zařízení.

2 Teoretický rozbor

2.1 *Obecné vlastnosti souřadnicových zapisovačů*

Souřadnicové zapisovače lze rozdělit do několika skupin dle média, na či do něž je požadovaný obraz zapisován, a dále dle nástroje, či více nástrojů, a způsobu, jimiž je zápis prováděn.

Existují souřadnicové zapisovače pro kreslení na papír či fólii ať už standardních formátů či souvislých pásů např. pro kresbu grafů a grafikonů, dále stroje pro řezání těchto „dvourozměrných“ médií. Dosud jde tedy, o zápis dvourozměrný, což znamená možnost buď pohybu zapisovacího nástroje po dvou, většinou navzájem kolmých, osách, nebo posuvu média po podélné ose a zároveň pohybu nástroje po ose druhé, a to s trajektorií přímočarou v příčném směru média, jestliže jde o pravoúhlý souřadnicový systém, či trajektorií jinou, křivočarou, např. u zapisovačů grafů s výkyvnými pery. Ve speciálních aplikacích se lze setkat i s jinými způsoby pohybu média a nástrojů, např. při tvorbě grafu, kdy je pohyb po jedné ose reprezentován kruhovým pohybem papírového kotouče.

Pro „zápis“ či spíše kresbu do dřevěných, kovových a jiných nejrůznějších modelovacích materiálů je již nutno počítat s trojrozměrným souřadnicovým zapisovačem nejčastěji v podobě CNC stroje či 3D tiskárny. Zde již povětšinou nejde o prostý zápis jakýmsi pisadlem, ale o frézování, soustružení a jiné modelování pro speciální účely. Pohyb po třetí ose je nejčastěji realizován pohybem pracovního nástroje směrem k obrobku a zpět. Zvláštním případem jsou v této kategorii soustruhy, kde je nutno rozlišit, zda rotace obrobku kolem své osy je neustálá, pouze s možností kontroly úhlové rychlosti bez znalosti skutečného okamžitého úhlu natočení obrobku, pak jde v podstatě pouze o dvouosý zápis. Ovšem v případě, kdy je možno vytvářet za pomoci přesného natočení obrobku i obrobek osově nesouměrný, jde již o zápis trojosý. Otázkou pak je, zda pak ještě stále může být takovéto zařízení nazýváno soustruhem. U těchto složitějších zařízení je pak již většinou samozřejmostí možnost strojové výměny pracovního nástroje.

Pohyb po jednotlivých osách bývá realizován krokovými motory případně servomotory s příslušnými převodovými mechanismy. Právě na těchto součástech závisí následná přesnost pohybu, která se nejčastěji pohybuje řádově v desetinách, či maximálně polovinách desetin milimetrů. U kreslicích plotterů není vyšší přesnost potřeba s ohledem na minimální tloušťku stopy pera, u frézovacích a podobných zařízení naopak není možno vyšší přesnosti dosáhnout s ohledem na mechanické možnosti jednotlivých součástí, především nezbytné vůle pohybových ústrojí. Druhým podstatným kritériem pro posuzování souřadnicových zapisovačů přímo souvisejícím s mechanickým provedením je nejvyšší možná rychlost práce zapisovače. V určitých případech toto souvisí také s výše zmiňovanou přesností. Zejména se vyskytují případy, kdy je použití vyšší rychlosti posuvu na úkor přesnosti a naopak. Hlavním omezovacím kritériem je zde maximální provozní kmitočet krokových motorků, při které spolehlivě pracují a tzv. neztrácejí kroky, pokud ovšem není pohon řešen rychlejším, např. stejnosměrným, motorem

a přesnost pohybu a zjišťování okamžité polohy realizováno speciálními snímači, např. optickými inkrementálními čidly.

2.2 Historie grafických jednotek XY41xx

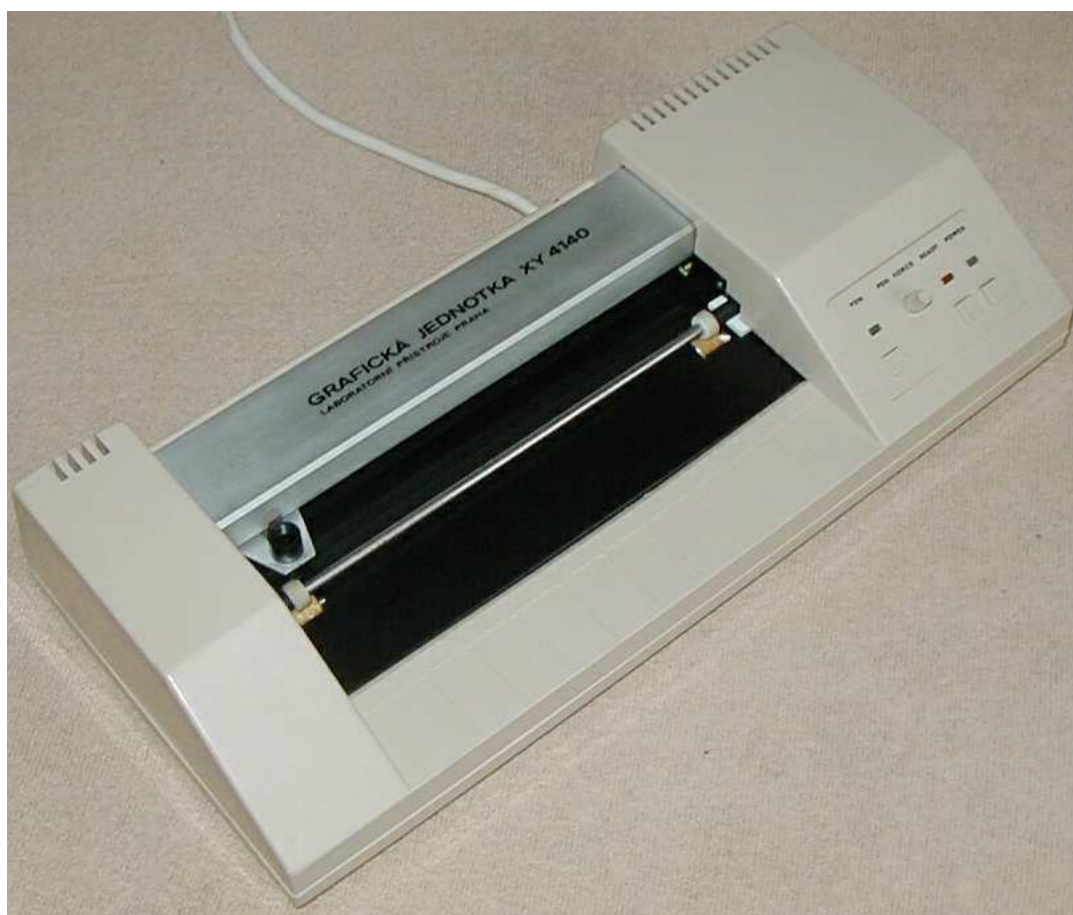
Grafická jednotka XY4140 je součástí výrobní řady XY41xx souřadnicových zapisovačů produkce státního podniku Laboratorní přístroje Praha. Prvním, ovšem nikdy sériově nevyráběným, pouze laboratorně testovaným, produktem zmíněné řady byla jednotka XY4120. Následovaly již několik let v sériové výrobě zařazené typy XY4130, posléze XY4131. Tyto byly roku 1988 nahrazeny oproti svým předchůdcům především vzhledově modernizovaným strojem XY4140, jenž byl hned následující rok překonán jen v detailech inovovaným typem XY4150. Posledním pokračovatelem řady XY byl souřadnicový zapisovač XY4160, který již obsahoval elektroniku řízenou procesorem s implementovaným interpretem HPGL.

[5], [6]

2.3 Popis původního stavu zařízení

Grafická jednotka XY4140 je souřadnicový zapisovač, kreslicí na papír formátu A4 libovolným pisadlem uchytitelným do držáku pera.

Mechanická část grafické jednotky se sestává z plechové kostry připevněné ve čtyřech bodech k samotnému plastovému šasi jednotky. K plechové kostře jsou připevněny dvě kovové osy s k sobě navzájem přitlačenými náboji - dva horní gumové a dva spodní obalené skelnou drtí - sloužící k přidržování a zároveň otáčením spodní osy k vertikálnímu posuvu papíru. Ke spodní ose je přes ozubený převod mechanicky připojen krokový motor pro pohyb v ose y . Vrchní část mechanického celku tvoří hliníkový „U“ profil otočený dnem vzhůru, pod nímž je skryto ústrojí pro pohyb pera po ose x . Vozík s úchytem pro pero je pojízdný za pomoci třech koleček pohybujících se v drážkách krycí lišty, zároveň je k vozíku pevně přichyceno lanko zavěšené z obou stran na kladkách, z nichž pravá je opět přes ozubený převod mechanicky připojena ke krokovému motoru osy x . Oba konce dráhy vozíku jsou osazeny tlačítkovým mikrospínačem s jedním spínacím kontaktem ve funkci dorazů.



Obr. 2.3.I – nová grafická jednotka XY4140. [4]



Obr. 2.3.II – mechanismus pro pohyb pera v ose x.

Elektrické vybavení grafické jednotky XY4140 můžeme rozdělit na tři základní části: Zdroj, řídicí logika a koncové budiče cívek.

Síťový zdroj je tvořen síťovým odrušovacím filtrem, síťovým transformátorem se dvěma sekundárními vinutími se jmenovitými napětími 10 V a 20 V. Dále obě tyto vinutí pokračují přes Grätzovy usměrňovače na filtrační kondenzátory. Ta polovina zdroje napájená z vinutí o napětí 20 V, kde po usměrnění je napětí 26 V, je určena pro napájení cívek krokových motorků a elektromagnetu přitlaku pera. Druhá polovina zdroje napájená z vinutí o napětí 10 V, kde po usměrnění je napětí 12 V, je po stabilizaci napětí obvodem MA7805 na hodnotu 5 V určena pro napájení řídicí logiky. Nulové potenciály obou polovin zdroje jsou spojeny a kombinace obou zdrojů (rozdíl potenciálů jejich kladných výstupů) je využíváno pro napájení krokových motorků v klidu sníženým napětím, aby byla zvýšena jejich přídržná síla v dané poloze oproti stavu bez napětí.

Samotná řídicí elektronika je tvořena mnoha TTL obvody řady MHB 4xxx, MH 74xx a jejich ruskými ekvivalenty. Jejich konkrétní typy, vzájemná propojení a funkce zde dále nebude popisována, neboť pro tuto práci je to nepodstatné. Celá řídicí logika bude na základě výběru realizovaného řešení buď použita v nezměněném stavu, nebo úplně odstraněna. V prvním z těchto případů však bude důležitý popis komunikačního rozhraní. Grafická jednotka XY4140 je uzpůsobena pro připojení k osmibitovému počítači šesti až sedmipinovým konektorem (pro schéma zapojení konektoru viz přílohu „E“, článek a dokumentaci ke grafickým jednotkám XY41xx na přiloženém CD) resp. šesti až sedmižilovým kabelem, kde využívaných vodičů, po nichž jsou přenášeny jednotlivé TTL signály, je pět, šestý vodič je signálová zem. Signálem na pinu 1 je ovládán zdvih pera, přivedením náběžné hrany na pin 2 se vykoná jeden krok (posun pera vzhledem k papíru o 0,1 mm) jednoho z motorků daným směrem, při čemž logická úroveň na pinu 3 určuje, zda se posun provede v ose x nebo y , a logická úroveň na pinu 4 volí směr posuvu. Pin 5 je pak z pohledu grafické jednotky jediný výstupní, signál na něm udává připravenost jednotky k dalšímu úkonu.



Obr. 2.3.III - původní konektor komunikačního rozhraní.

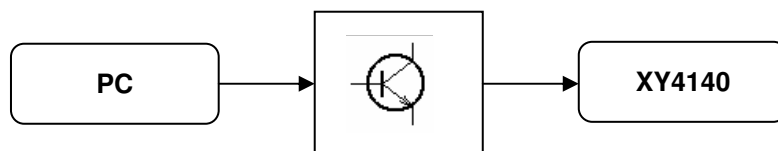
2.4 Návrhy možných řešení

V dnešní době již prakticky není dostupný počítač, jenž by disponoval rozhraním pro připojení grafické jednotky řady XY41xx. Aby však potenciál poměrně kvalitní mechanické konstrukce, jež svým typem v dnešní době nemá v oblasti běžného příslušenství k osobním počítačům obdoby, mohl být nadále využíván, je nutno přistoupit buď k rekonstrukci elektroniky samotné grafické jednotky či k výrobě adaptéru, který by umožňoval připojení k osobním počítačům a používání zařízení dle dnešních zvyklostí, některým z následujících způsobů:

I. Výroba adaptéru zprostředkovávajícího komunikaci mezi PC a grafickou jednotkou.

a) Hardwarový převodník logických úrovní.

V tomto případě jde o hardwarově nejméně náročné řešení. Samotný převodník bude představovat pouze minimální množství jednoduchých součástek potřebné pro převod logických úrovní zvoleného portu PC na logické úrovně rozhraní grafické jednotky. Veškerou práci, tedy převod pohybu pera grafické jednotky na jednotlivé kroky motorků, je zde nutno vykonávat programově v PC. Na straně počítače je nutno zvolit pro řešení takový port, jenž disponuje dostatkem vstupních a výstupních signálových vodičů pro pokrytí potřeb grafické jednotky, tedy ze strany počítače celkem 4 výstupní signály a 1 vstup, při čemž tento není nezbytně nutný, pouze umožňuje využít maximální rychlosti logiky grafické jednotky (bez ohledu na možnosti mechanické části). Pro toto řešení jsou tedy z hlediska počtu signálových vodičů vhodné pouze sériový či paralelní port. Bohužel dostupnost těchto portů na osobních počítačích je již v dnešní době spíše sporadická, převodníky z jiných rozhraní jsou ve výsledku značně pomalejší, proto se toto řešení stává poměrně nevhodným.

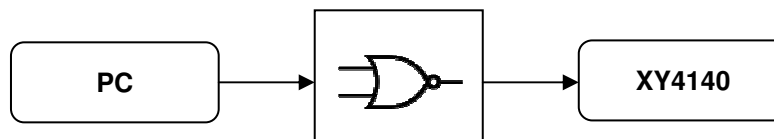


Obr. 2.4.I – návrh řešení - hardwarový převodník logických úrovní.

b) Převodník využívající jednoduché logiky.

Jde o podobné řešení jako v prvním případě. Zde je ovšem využito jednoduché logiky pro omezení počtu potřebných signálových vodičů vedených z portu počítače, a tedy odstranění hlavního problému, pro nějž bylo první řešení zavrženo. Pro toto využití se nabízí např. multiplexní přenos dat (do funkce adaptéru by tedy přibyl demultiplexor), nebo použití posuvného registru. Však efekt těchto metod při přenosu zde potřebných čtyřech signálů, které neodpovídají protokolu žádného standardního

rozhraní PC, je minimální a pravděpodobně by došlo k úspoře pouze jednoho signálového vodiče. Navíc by zřejmě ještě vzrostla náročnost na program v PC, který by se musel navíc starat o kódování výstupních signálů pro převodník.



Obr. 2.4.II – návrh řešení - převodník využívající jednoduché logiky.

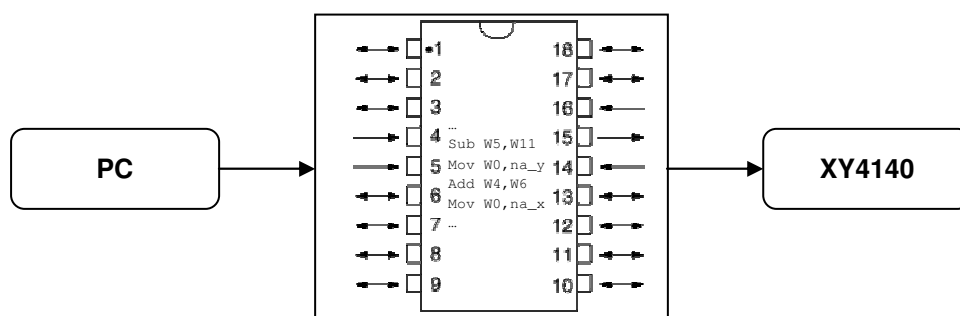
c) „Inteligentní“ převodník s vlastním programovým vybavením.

Další možností řešení je osazení převodníku některou z dnes již nepřeberného množství běžně dostupných a používaných programovatelných součástek mnoha různých výrobců. Jde o mikroprocesory, mikrokontroléry či programovatelná hradlová pole. Výběr mezi jednotlivými kategoriemi a následně mezi výrobky jednotlivých firem nabízejících tyto součástky je většinou nutno ponechat na zvyklostech a znalostech programátora, jehož úkolem bude se součástkou pracovat. Dále zde bude důležitý výběr jednoho již standardních rozhraní, skrze které bude zařízení komunikovat s osobním počítačem. Jakými komunikačními rozhraními tedy dnešní osobní počítače většinou disponují a jaké jsou jejich výhody a nevýhody pro naši aplikaci?

- i. USB – nejznámější a nejpoužívanější pro komunikaci mezi dvěma zařízeními.
- ii. Sériový port – jednoduše využitelné ze strany libovolného mikrokontroléru.
- iii. Ethernet – nejpoužívanější pro komunikaci více než dvou zařízení v síti, zde je však uvažováno o komunikaci pouze mezi dvěma zařízeními.
- iv. Bluetooth – programová jednoduchost implementace shodná se sériovým portem, tudíž výhodné v případě požadavku na bezdrátové připojení.
- v. Wi-Fi – bezdrátová komunikace, v danou chvíli však složitá na implementaci.

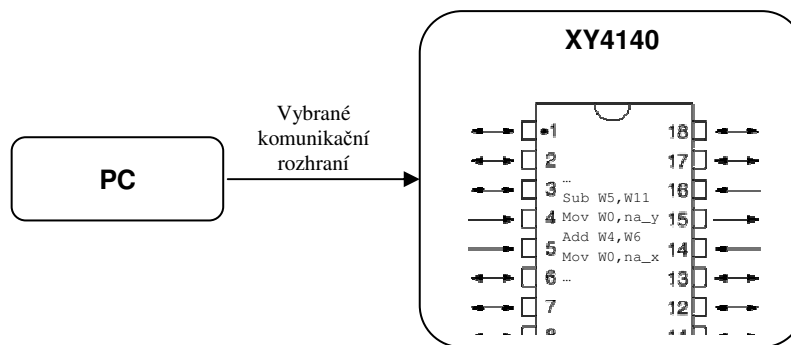
Po zvolení vhodného komunikačního rozhraní je možno vybrat konkrétní nejvhodnější typ programovatelné součástky, která buď v případě mikroprocesorů a mikrokontrolérů přímo podporuje námi vybrané komunikační rozhraní, nebo do níž bude možno toto rozhraní programově implementovat. Pokud takováto vhodná součástka k dispozici není, zejména při potřebě použití speciálního hardwaru (např. zvolili-li jsme si bezdrátovou komunikaci), bude nutno použít některý ze speciálních jednoúčelových obvodů či kompletních modulů, pokud takovýto pro námi vybrané komunikační rozhraní existuje, a to opět v kombinaci s některým z programovatelných obvodů dle uvážení a libosti programátora. Pro úplné dořešení komunikace mezi zařízením ovládacím (osobní počítač) a ovládaným (převodník) je nutno zvolit jakýsi komunikační jazyk. Můžeme si buď vytvořit vlastní soubor příkazů vyhovující co

nejlépe našim budoucím případným speciálním požadavkům na ovládání grafické jednotky nebo implementovat komerčně vyvinutý a používaný jazyk, jakým je např. HPGL (HPGL/2). Nakonec je zde ještě otázka rozdělení práce mezi program v PC a v adaptéru. Je tedy možno, aby ovládací software v PC odesílal příkazy programu v adaptéru po jednom, tedy až po dokončení jednoho příkazu si adaptér zažádá o zaslání dalšího. Nebo lze příkazy v paměti adaptéru načítat do fronty určité délky tak, aby v případě krátkého výpadku komunikace ze strany PC nedošlo ke zbytečné prodlevě práce grafické jednotky. Nebo konečně v případě dostatku volné paměti programovatelné součástky lze do ní načíst jednorázově celý program (samozřejmě do určité délky v rámci volné kapacity paměti) a další komunikace během jeho vykonávání by mezi adaptérem a PC nebyla nutná.



Obr. 2.4.III – návrh řešení - „inteligentní“ převodník s vlastním programovým vybavením.

II. Rekonstrukce elektroniky grafické jednotky.



Obr. 2.4.IV – návrh řešení - rekonstrukce elektroniky grafické jednotky.

- a) Náhrada konvolutu logických obvodů programovatelnou logikou.

V tomto případě bude z desky plošných spojů grafické jednotky vyňata část osazená logickými obvody, k nimž jsou dále připojeny budiče cívek krokových motorků a ovládání zdvihu pera. Bude zde tedy nutno uskutečnit celý postup z varianty I.c), ovšem výstup programovatelného obvodu bude nutno uzpůsobit již nikoliv komunikačnímu rozhraní grafické jednotky, ale přímo vstupům tranzistorových budičů pracovních cívek, a to včetně případného hardwarového přizpůsobení výstupů programovatelné součástky požadovaným napětovým úrovním na vstupech oněch původních budičů.

- b) Náhrada logických obvodů a jimi řízených budičů pracovních cívek.

Tato varianta oproti předchozí navíc řeší výše zmíněný problém s napětovým přizpůsobením nově osazené logiky původním budičům, jejichž základem jsou bipolární tranzistory. Tyto budou tedy z desky plošných spojů kompletně odstraněny společně s původními logickými obvody a nahrazeny budiči novými. Jako nejvhodnější náhrada jednoho kompletního budiče obsahujícího původně dva bipolární tranzistory zde bude zvolen jeden unipolární tranzistor technologie MOSFET. Protože jde o spínání zátěže s indukčním charakterem, použijeme, pro minimalizaci okolních součástek, tranzistory s integrovanou rychlou diodou omezující zpětné napětíové špičky při odpínání zátěže. Nakonec je nutno zvolit nejvhodnější konkrétní typ tranzistorů s ohledem na proud zátěže, ovládací napětí dle napájecího napětí řídicí logiky tak, aby bylo možno vést signál z vývodu programovatelného obvodu přímo na ovládací elektrodu budiče, a také pouzdro, v němž jsou budiče dodávány s ohledem na plánované provedení konstrukce nové řídicí logiky grafické jednotky.

- c) Kompletní návrh nové elektrické výzbroje grafické jednotky.

Tato poslední varianta rekonstrukce elektroniky grafické jednotky XY4140 počítá s její kompletní výměnou včetně napájecího zdroje a opět řešení celého postupu z varianty I.c. Toto celé především v případě, kdy nebude pro zvýšené nároky způsobené novým systémem ovládání grafické jednotky dostačovat jeho výkon. V původním provedení grafické jednotky bylo za jejího chodu možno pohybovat vždy jen jedním z krokových motorků najednou, což ovšem značně zpomalovalo celý proces kreslení čar, jež byly vychýleny vůči ose x či y , navíc tím byla degradována kvalita těchto čar. V návrhu řízení novou elektronikou je počítáno s možností pohybu po obou osách současně, což ovšem znamená také onu zvýšenou energetickou náročnost. Rovněž by mohl nastat problém, kdy použitím nových budičů cívek dojde vlivem snížení úbytků napětí na nich k propuštění podstatně vyššího napětí potažmo proudu přes cívky motorků, což by mohlo při delším trvalém provozu způsobovat jejich přehřívání a tím ohrožovat jejich životnost. Pokud tedy bude využití této varianty na základě testů a měření shledáno jako nutné, bude následovat návrh

nového napájecího zdroje, tedy volba dostatečně dimenzovaného síťového transformátoru s vhodnými sekundárními vinutími, v případě potřeby na straně primárního vinutí doplněného o síťový odrušovací filtr. Dále bude nutno vhodně naddimenzovat síťové trubičkové pojistky, pro něž jsou na zadním panelu osazena pojistková pouzdra. Na sekundární straně pak bude potřeba pro všechny vinutí provést na základě měření či výpočtu maximálního proudového odběru vhodnou volbu usměrňovacích diod či kompletního diodového můstku, dále potřebnou kapacitu filtračního kondenzátoru a nakonec případně i vhodného stabilizátoru napětí. V této variantě je počítáno s úplným odstraněním původní desky plošných spojů společně s původním síťovým transformátorem a výrobou nového plošného spoje osazeného veškerou novou elektronikou.

2.5 Výběr a rozvaha vhodného řešení a součástek k realizaci

Na základě zadání práce bude k realizaci vybrána varianta řešení, v níž je počítáno s využitím programovatelného obvodu s následnou implementací HPGL či HPGL/2 interpretu. Vlastní volbou je pak preference varianty, jejíž výsledek (nikoliv realizace) bude konstrukčně i elektronicky co nejjednodušší, tím je tedy vyloučena varianta s jakýmkoliv muzikusem, tedy externím adaptérem. Testováním bylo zjištěno, že původní napájecí zdroj bude i pro nový řídicí systém grafické jednotky dostačující. Varianta s kompletní výměnou elektroniky včetně napájecího zdroje je tedy rovněž vyřazena. Pouze bude nutno na místo původních síťových trubičkových pojistek T 80 mA, použít pojistky o dvojnásobné hodnotě jmenovitého proudu, při čemž bude po dokončení realizace ještě jednou nutno ověřit, zda se při delším provozu neúměrně nezahřívá síťový transformátor. Jako výslednou variantu k realizaci jsem si vybral možnost nahrazení řídicí logiky i s výstupními budiči, a to především pro onu již zmíněnou jednoduchost, použití jednoho tranzistoru na místo původních dvou navíc obklopených několika pasivními součástkami, a také rychlost a efektivitu spínání dnešních unipolárních tranzistorů.

2.5.1 Rozvaha konstrukčního řešení

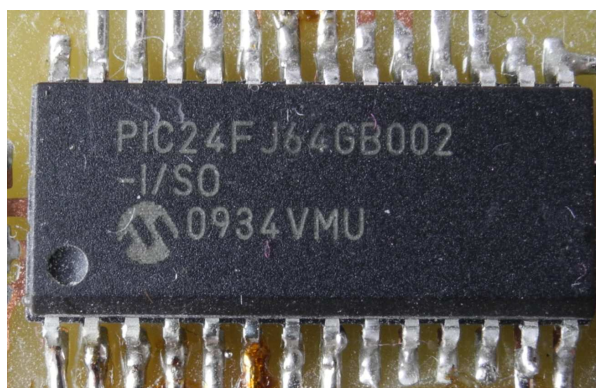
Šasi celé grafické jednotky zůstane i po rekonstrukci zachováno, je tedy nutno nějakým způsobem vyřešit odstranění nově nepoužitého a naopak osazení nově potřebného konektoru. V rámci možností bude nový komunikační konektor osazen na místo původního s patřičnými mechanickými úpravami. Dále je nutno v přístroji nově umístit desku plošných spojů s novou elektronikou. Za podmínek, kdy nechceme úplně odstranit přibližně polovinu celé původní desky z důvodu zachování jejího mechanického upevnění v přístroji po okrajích, bude vhodným řešením vyřezání části původní desky v místě dosavadního osazení původní logiky, kterou je v každém případě nutno odstranit. Do takto vzniklého otvoru v původní desce bude poté možno vložit desku s elektronikou novou o rozměrech shodných s rozměry „okna“. Další původní součástky, které již dále nebudou pro fungování s novou elektronikou potřeba, budou z původní desky pokud možno šetrně odpájeny, případné nežádoucí propoje na desce mohou být přerušeny a naopak nežádoucně přerušené spoje opět realizovány drátovými propojkami.

Grafická jednotka je původně vybavena malým ovládacím panelem o třech tlačítkách umožňujících zřejmě ruční posuv papíru jedním a druhým směrem, a ruční ovládání zdvihu pera. Dále potenciometrem pro nastavení požadované míry přítlaku pera, a nakonec tři LED pro signalizaci zapnutého stavu, připravenosti jednotky, což je kopie stavu pinu č. 5 původního komunikačního konektoru jednotky, a poslední pravděpodobně pro signalizaci stavu zdvihu pera. Tento panel zůstane prozatím v této fázi plánování rekonstrukce fyzicky zachován a vyjma LED signalizující zapnutý stav jednotky bude od ostatní elektroniky odpojen.

2.5.2 Výběr součástek pro novou elektroniku

Jelikož byl ze strany zadavatele požadavek na použití technologie plošné montáže součástek na novou desku plošných spojů, budou všechny součástky, u nichž tato možnost je, vybrány v provedení SMD. V případě rezistorů bude pro snadnost ručního osazování vybrána standardizovaná velikost 1206. Výjimku z tohoto provedení budou tvořit klasické jednořadé pinové lišty sloužící pro připojení nové desky skrze jednořadé konektory k desce původní, a to jak pro přivedení napájení, tak pro výstup budičů na pracovní cívky či vstup dalších potřebných signálů, např. kontakty dorazů.

Nejdůležitější volbou z hlediska následného úspěšného dovedení k funkčnosti bude výběr programovatelné součástky. Zde jsou nejdůležitějším faktorem vlastní zkušenosti samotného programátora z této oblasti a výsledná volba bude kompromisem mezi nimi a velmi rychle v této oblasti postupujícím pokrokem. Bude tedy vybíráno ze sortimentu mikrokontrolérů PIC firmy Microchip. Tato nabízí širokou škálu osmi, šestnácti a nyní i dvaatřicetibitových mikropočítačů vhodných pro aplikace o velmi širokém rozpětí náročnosti. Mé praktické zkušenosti prozatím dosahují pouze úrovně osmibitových mikrokontrolérů PIC, ty však byly již v mnoha ohledech dávno překonány, a i přesto, že jsou stále pro mnohé aplikace velmi výhodným a hlavně jednoduchým a levným řešením, rozhodl jsem se v tomto případě zvolit některou součástku z rodiny PIC24, tedy z šestnáctibitových mikrokontrolérů zmíněného výrobce. Po dlouhé úvaze nad mnohými možnostmi a parametry jednotlivých zástupců této produktové řady, a rovněž konzultaci výběru konkrétního typu s dalšími, zkušenějšími, lidmi v této oblasti byl vybrán mikrokontrolér PIC24FJ64GB002 v pouzdru 28SOIC.



Obr. 2.5.2.1 – mikrokontrolér PIC24FJ64GB002 v pouzdru 28SOIC.

Vybraný mikrokontrolér pracuje s napájecím napětím 2 až 3,6 V. Budu jej tedy napájet jednou ze standardních napěťových úrovní v současnosti používané digitální logiky, 3,3 V. Pro výrobu tohoto napájecího napětí, jež bude muset být dostupné také při programování mikrokontroléru programátorem touto napěťovou úrovní primárně nedisponujícím, byl vybrán napěťový stabilizátor AP1117D33G-13 v pouzdru TO-252. Následně pak bude zvoleno, zda bude na jeho vstup připojeno přímo usměrněné napětí 10 V a bude jím nahrazen původně osazený stabilizátor MA7805, nebo bude napájen až původně dostupnou napěťovou úrovní 5 V, tedy osazen až za stabilizátor MA7805.

Konečnou fází výběru klíčových součástek bude volba koncových tranzistorových budičů. Vzhledem k poměrně vysokému počtu potřebných budičů, 2x 4 výstupy pro cívky krokových motorků a jeden výstup pro cívku přitlaku pera, by bylo pro jednoduchost montáže vhodné použít budiče obsahující více tranzistorů v jednou pouzdru. Dále z důvodu nízkého napájecího napětí řídicí logiky a naopak několikanásobně vyšší kladné napěťové úrovně napájení cívek bude nutno jako tranzistory spínaný pól cívek zvolit pól záporný, tedy ten, který je pro obě tyto napěťové úrovně brán jako společná zem. Proto bude nutno použít tranzistory MOSFET s kanálem N. Také s ohledem na obecné požadavky na parametry unipolárních tranzistorů ve funkci spínače, minimální vnitřní odpor a maximální dovolený proud v sepnutém stavu, maximální dovolené napětí ve stavu rozepnutém či např. maximální kmitočet spínání v případě využití PWM řízení, byl zvolen typ IRF7303. Jde o dva tranzistory N-MOSFET, s integrovanou rychlou diodou pro pohlcení napěťových špiček při odpínání indukční zátěže, v jednom pouzdru SO-8. Tyto budou tedy použity v celkovém počtu pěti kusů.

3 Fyzická realizace

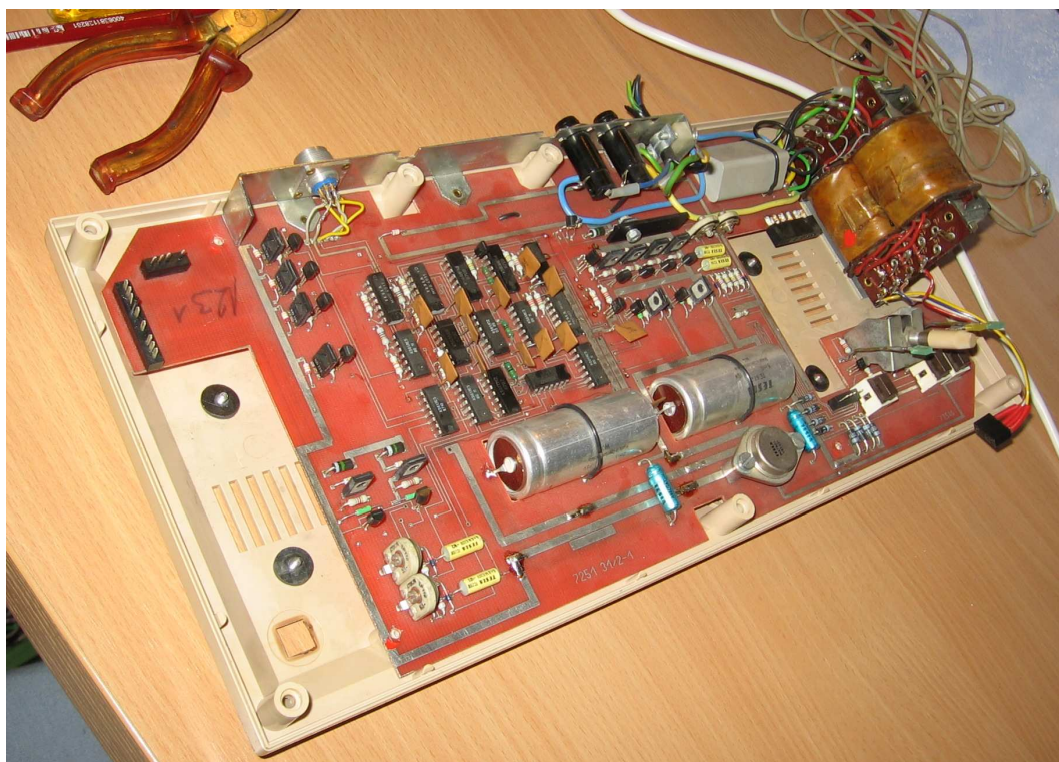
Pro celý proces rekonstrukce grafické jednotky XY4140 dle výše zpracovaného rozboru byl zvolen následující postup realizace. Nejprve bude provedena demontáž všech dále nepotřebných či pro práci dočasně překážejících dílů. Následně budou provedeny mechanické úpravy některých původních dílů, jež v přístroji zůstanou zachovány i po rekonstrukci. Mezi tím bude převážně za práce s katalogovými listy výše vybraných součástí navrženo kompletní schéma zapojení nové elektroniky a poté bude na jeho základě vyrobena a osazena první prototypová deska plošných spojů. Dále budou všechny nové komponenty vsazeny do k tomuto úkonu připravené grafické jednotky, budou provedeny všechny potřebné elektrické propoje a bude počato s oživováním a testováním. Jakmile bude grafická jednotka osazena novou elektronikou shledána ve všech plánovaných ohledech po elektrické stránce plně funkční, včetně zkoušky možnosti naprogramování mikrokontroléru krátkým zkušebním programem, lze jednotku mechanicky složit a přejít k vývoji programové části řešení. Zde bude nejspíše nutno alespoň v části úkolu pracovat současně na vývoji programu pro mikrokontrolér, programu pro PC a rovněž řešit komunikaci mezi nimi. Poslední část práce by měla znamenat vytvoření demonstrační aplikace pro ukázkou funkce celého systému.

3.1 Analýza a odzkoušení grafické jednotky v původním stavu

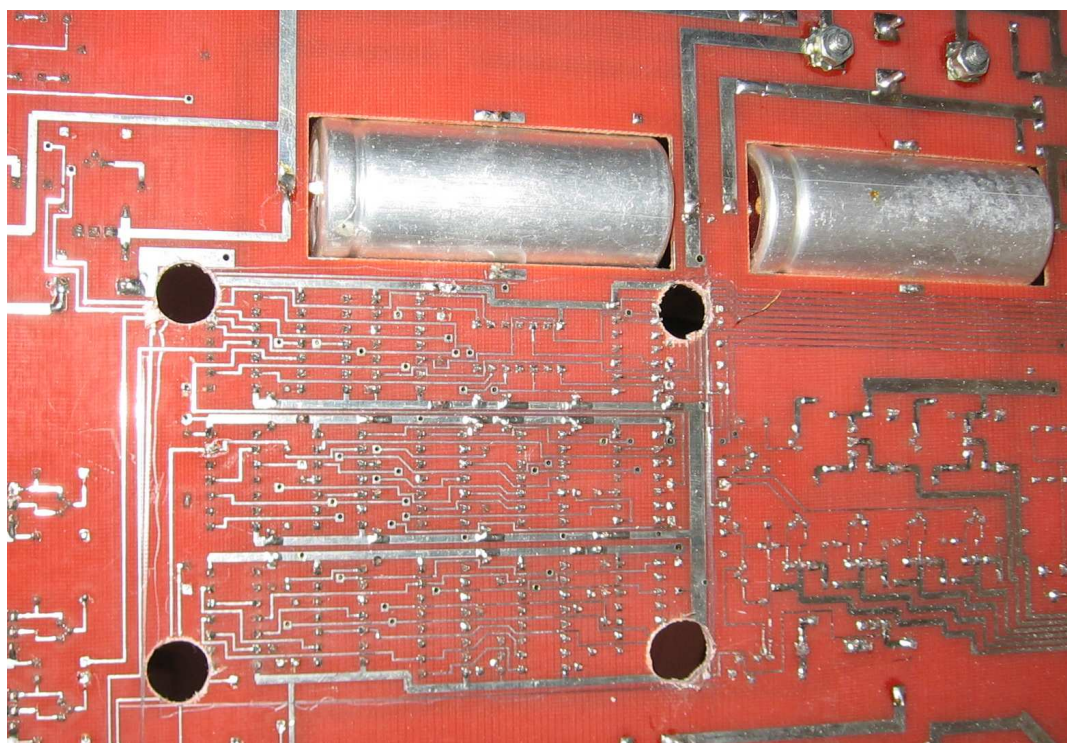
Po obdržení grafické jednotky XY4140 bylo nejprve samozřejmě vyzkoušeno alespoň to málo, co přístroj dokáže bez připojení k počítači skrze své původní komunikační rozhraní, tedy posuv papíru tam a zpět pomocí dvou tlačítek přímo na ovládacím panelu jednotky. Dále byly za pomoci připojení k několika tlačítkům v nepájivém poli a externímu zdroji simulujícím různé stavy vstupních signálů odzkoušeny ostatní funkce, a to bez výjimky s kladnými výsledky. Nakonec byly postupně odstraněny plastové kryty a opatrně demontovány některé vnitřní součásti za účelem pochopení systému fungování veškerých pohybů a prozkoumání elektroniky grafické jednotky.

3.2 Mechanické úpravy

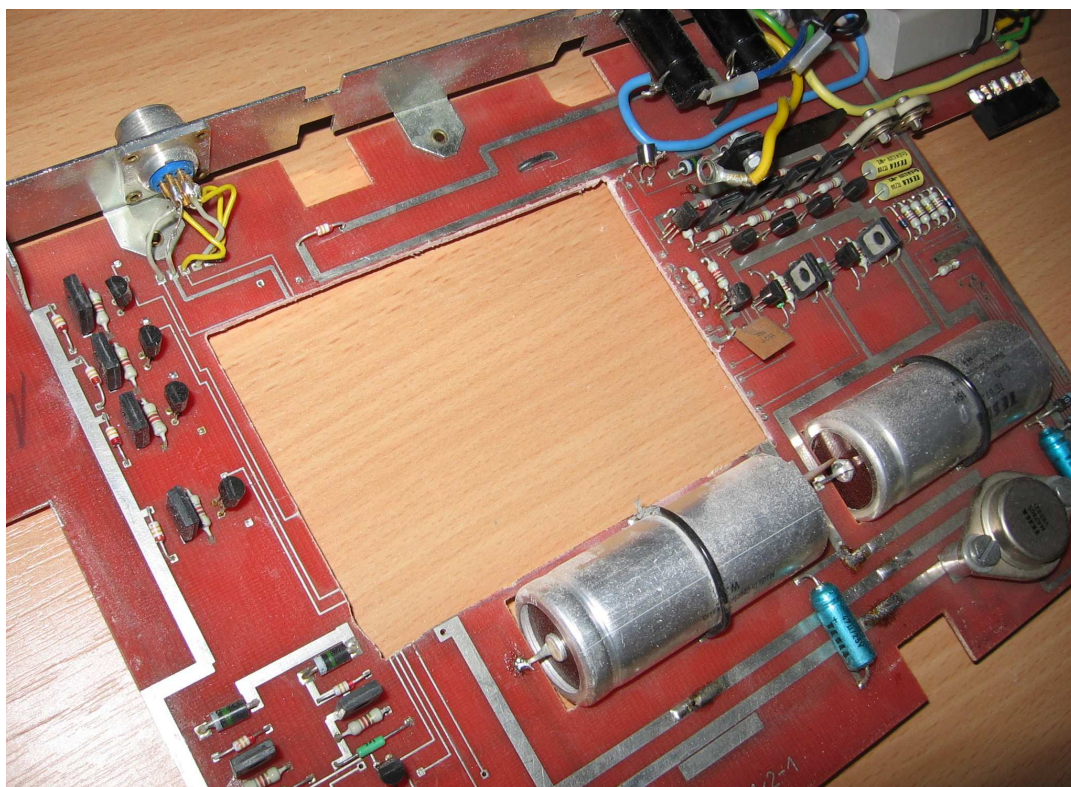
První zásadní mechanický zásah do přístroje byl do původní desky plošných spojů v oblasti osazení původních logických obvodů. Jak již bylo zmíněno výše, je potřeba tuto část odstranit. Nejprve je tedy nutné detailně prozkoumat okolní spoje z vrchní i spodní strany desky, posoudit, které propojení bude vhodné zachovat, a které naopak vhodné přerušit řezem, a nejlépe z obou stran ve stejných místech si označit trasu řezů.



Obr. 3.2.I – původní deska plošných spojů před zásahem.



Obr. 3.2.II – zakreslen výřez a vyvrtány rohové otvory.



Obr. 3.2.III – vyřezaný a vyhlazený otvor pro umístění desky s novou elektronikou.

S ohledem na dostupnou techniku jsem nejprve vyvrtal otvory o průměru přibližně 10 mm ve všech rozích plánovaného obdélníkového výřezu, a poté frézováním menším vrtákem a až to bylo možné, tak řezáním plátkem pilky na železo oddělil část desky s logickými obvody od jejího zbytku. Následovalo samozřejmě vyhlazení hran vzniklého otvoru pilníkem, a změření a zaznamenání rozměrů otvoru pro pozdější výrobu nové desky, kterážto do něj bude vsazena.

Druhou součástí, které se mechanické úpravy dotknou, je z kovového pásu vyrobený zadní panel, na němž jsou umístěny konektory a pojistková pouzdra a skrze který je vyveden napájecí kabel. Byl zde přinýtován původní konektor komunikačního rozhraní. Odstranění onoho konektoru bylo provedeno odvrtáním hlaviček nýtů vrtákem o průměru 3 mm. Pro plánované zprovoznění komunikace mikrokontroléru s PC prostřednictvím USB je nutno osadit na vhodné místo přístrojový mini USB konektor. Tento byl samostatně, pouze s pětipinovou lištou, osazen na cca 20 x 20 mm velkou pro tento účel vyrobenou destičku plošných spojů. K této byla ze strany konektoru kolmo připájena druhá, přibližně shodně velká, destička s předvrtanými otvory pro konektor a čtyři šroubky v rozích. Celá tato malá konstrukce pak byla přišroubována na místo původního komunikačního konektoru na zadní panel grafické jednotky.

Dále byl v prostoru mezi pojistkovými pouzdry a původně osazeným konektorem vyvrtán nový otvor pro umístění přepínače KNX-1 do funkce síťového vypínače, který v tomto typu grafické jednotky nebyl osazen, byly však pro něj na desce plošných spojů připraveny vývody původně spojené drátovou propojkou.



Obr. 3.2.V – zadní panel po příslušných úpravách.

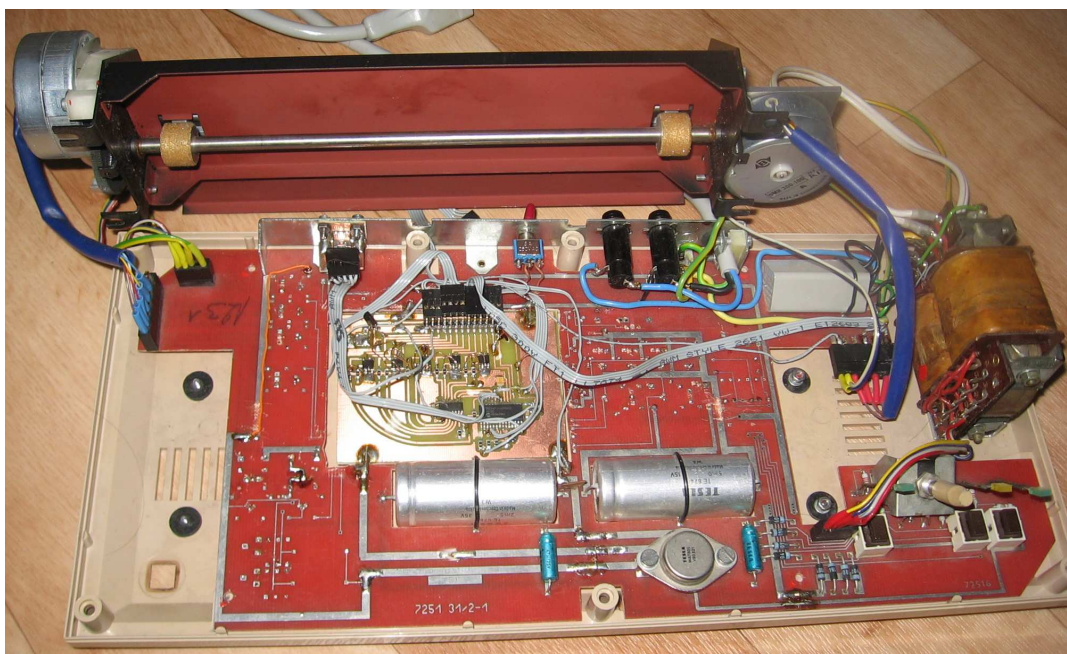
3.3 Úprava stávající a výroba nové elektroniky

Velká část původních dále nepotřebných součástek v podobě konvolutu logických obvodů již byla odstraněna. Nicméně stále zde zbývá spousta pasivních součástek a tranzistorů původně zajišťujících funkci koncových budičů, tyto je nutno z desky plošných spojů co nejšetrněji odpájet. Přesně se jedná o všechny na desce zbývající součástky vyjma následujících:

- Elektrolytické a keramické kondenzátory napájecího zdroje,
- usměrňovací diody napájecího zdroje,
- síťový odrušovací filtr a všechny spoje vedoucí síťové napětí,
- prozatím také stabilizátor MA7805,
- tlačítka, potenciometr, LED diody a rezistory ovládacího panelu,
- veškeré konektory pro připojení transformátoru, krokových motorků, cívky přítlaku pera a mikropsínačů dorazů.

V této fázi byly navrhovány schéma zapojení a nová deska plošných spojů pro osazení mikrokontroléru a budičů. V první řadě byly prostudovány potřebné kapitoly katalogového listu mikrokontroléru a dle zde nabytých znalostí byl PIC24FJ64GB002 zakreslen do schématu zapojení se všemi okolními součástkami požadovanými pro chod mikrokontroléru v plánované konfiguraci. Z konkrétních nastavení ovlivňujících tuto konfiguraci lze zmínit např. využití jednoho z interních oscilátorů, možnost tzv. ICSP tj. programování přímo v daném zapojení, využití interního napěťového regulátoru pro napájení jádra mikrokontroléru, či přípravu zapojení pro možnost využití komunikace integrovaného USB rozhraní v mikrokontroléru. Po osazení všech těchto okolních rezistorů, kondenzátorů a konektorů pro napájení, programování a případnou USB komunikaci byl zjištěn nedostatečný počet zbývajících vstupně výstupních pinů potřebných pro ovládání budičů, vstupy dorazů, případně rezervu pro další v budoucnu osaditelné periferie jako např. ovládací a informační panel přímo na jednotce. Tento problém byl téměř okamžitě vyřešen přidáním posuvného registru s osmi výstupy, díky čemuž je ovládání osmi výstupů pro budiče cívek krokových motorků zajišťováno třemi výstupními piny mikrokontroléru. Konkrétně byl vybrán posuvný registr 74HC4094 v pouzdru SO-16 s rozsahem napájecího napětí 2 až 6 V. Původně bylo plánováno napájení posuvného registru stejným napájecím napětím jako mikrokontrolér, tedy 3,3 V. Později však bylo porovnáním informací o požadovaných vstupních a garantovaných výstupních napěťových úrovních

z katalogových listů posuvného registru a mikrokontroléru zjištěno a posléze také prakticky ověřeno, že je možno posuvný registr napájet napětím 5 V, aniž by byla zpochybněna spolehlivost přenosu dat z mikrokontroléru do posuvného registru, a navíc budou napěťově posíleny signály do řídicích elektrod tranzistorových budičů ovládajících cívky krokových motorků. Také z tohoto důvodu byl na původní desce plošných spojů grafické jednotky definitivně zachován stabilizátor MA7805. Nakonec byly do schématu zapojení doplněny tranzistorové budiče, napěťový stabilizátor s výstupem 3,3 V pro napájení mikrokontroléru a potřebná přípojná místa v podobě jednořadých pinových lišt. Dle vzniklého schématu zapojení byl navržen a vyroben první prototyp hlavní desky plošných spojů nové elektroniky. Tato pak byla vsazena do dříve připraveného otvoru v původní desce plošných spojů a upevněna připájením k vybraným silnějším spojům původní desky za pomoci několika krátkých kousků tuhého měděného vodiče o průřezu 2,5 mm.



Obr. 3.3.1 – umístění první verze desky s novou elektronikou v přístroji.

Veškerá elektronika je nyní fyzicky přítomna v grafické jednotce a je potřeba zajistit její elektrická připojení ke všem potřebným bodům. V první řadě jde o napájení, tedy zemní potenciál a napájecí napětí 5 V, což je výstup z původního stabilizátoru MA7805. Následuje připojení výstupu budičů cívek a vstupů pro dorazové mikrospínače na původní konektory ze strany desky plošných spojů, motorky, přítlačová cívka a mikrospínače k těmto konektorům budou připojeny stejným způsobem jako doposud. Rovněž je nutno propojit s hlavní deskou destičku osazenou mini USB konektorem a s pohyblivým konektorem pro programování mikrokontroléru. Posledním krokem před oživením bude realizace nutných drátových propojek na původní desce samotné. Odstraněním některých původních součástek zároveň došlo

k přerušení některých proudových a signálových cest nezbytných pro funkci přístroje. Je tedy nutno spojit druhý, k mikrokontroléru nepřipojený, vývod dorazových mikrospínačů se zemním potenciálem a spojit druhé konce cívek krokových motorků a cívky přítlaku pera, ty, které nejsou připojeny k mikrokontroléru, s kladným pólem usměrněného napájecího napětí 26 V. Nakonec je potřeba zkontrolovat, zda naopak není na desce žádný nežádoucí propoj, který by znemožňoval činnost nově zapojeného přístroje. Pokud ano, je jej potřeba odstranit přeříznutím či úplným stržením spoje z desky, čehož může být dosaženo zahřátím spoje na vysokou teplotu páječkou. Osobně jsem si ještě pro usnadnění případné další manipulace s celou deskou plošných spojů dočasně prodloužil vodiče od desky k primárnímu vinutí a uzemnění síťového transformátoru. Před prováděním předešlých prací jsem si je úplně odpojíl.

3.4 Oživení elektroniky

Prozatím byly ponechány odpojené konektory motorků, případně i cívky zdvihu pera a dorazů, a byl napsán první zkušební program pro mikrokontrolér, pomocí něhož je možno jakýmkoliv způsobem ověřit funkci výstupů budičů a vstupů pro mikrospínače. Nyní byla grafická jednotka připojena k programátoru a do sítě, a byl zapnut nově instalovaný síťový vypínač, při čemž bylo hlídáno případné přehřívání všech součástek. Byla změřena všechna napájecí napětí. Zde byla zjištěna závada stabilizace napětí 3,3 V jejíž přesnou příčinu se v tuto chvíli nepodařilo odhalit. Po výměně stabilizátoru za typ HT7133, který jsem měl okamžitě k dispozici, bylo vše pořádku. Za pomoci softwaru programátoru byl úspěšně nahrán program do mikrokontroléru. Za běhu tohoto testovacího programu byly ověřeny správné signály na všech výstupech budičů a správné reakce na příslušné vstupy. Nyní tedy bylo možno složit grafickou jednotku do stavu, kdy chybí pouze horní plastový kryt, který zatím nebudu osazovat, připojit již veškeré konektory a opět napsat zkušební program, který již bude moci reálně vyzkoušet otáčení obou motorků, ovládání přítlaku pera a reagovat na dojezd vozíku do levého i pravého dorazu. Tento program je v současnosti v mikrokontroléru grafické jednotky nahrán a je možno jím demonstrovat veškeré výše uvedené pohyby a reakce.



Obr. 3.4.I – stav přístroje po dokončení první verze hardwarových úprav.

4 Programová realizace, dodatečné fyzické úpravy a průběžné testování

4.1 Programování mikrokontroléru

Jak již bylo zmíněno v hardwarovém popisu, byl jako řídicí logika grafické jednotky vybrán mikrokontrolér PIC24FJ64GB002 výrobce Microchip. Mikrokontrolér je provozován za využití interního RC oscilátoru při maximálním kmitočtu 16 Mi/s navíc s možností využít tento oscilátor pro generování hodin pro integrovaný USB modul. Pro vývoj programu mikrokontroléru bylo využito prostředí MPLAB IDE nabízené firmou Microchip pro své výrobky v základní verzi zdarma. Za nástroj k psaní programu byl využit JSA (pro překladač, assembler, ASM30). A pro samotné programování bylo použito programátoru PIC PRESTO, výrobku firmy ASIX.

4.1.1 Struktura kódu programu pro mikrokontrolér

První řádky programu obsahují standardní direktivy překladače určující typ mikrokontroléru, s tím související potřebu přiložit příslušný soubor s makry definující používané názvy registrů, přerušení apod. daného mikrokontroléru. Dále jsou definována uživatelská makra a uživatelem definované ekvivalenty názvů uživatelských registrů.

Poté přichází již vlastní kód programu, a to v první řadě inicializace všech potřebných funkcí a registrů samotného mikrokontroléru – nastavení oscilátoru, vstupně-výstupních pinů, modulu následně použitého komunikačního rozhraní a nastavení všech použitých přerušení. A konečně následuje již skutečná inicializace grafické jednotky, tedy reset posuvného registru uchovávajícího polohy krokových motorků, následné zajištění pera do výchozí polohy, pokud se v ní nenachází, a nastavení absolutních souřadnic na počátek.

Po inicializaci se program nachází v nekonečné smyčce a čeká na přijetí prvního znaku resp. příkazu po daném komunikačním rozhraní od programu v počítači, k němuž je připojen, případně na jiný podnět, např. stisk tlačítka ručního posuvu papíru, vyvolající přerušení a potřebný úkon grafické jednotky. Cca 90 % programového kódu je pak tvořeno podprogramy, rutinami, jež jsou volány v příslušných situacích hlavní smyčkou či navzájem. V první řadě jde o rutiny zajišťující chod krokových motorků a primární funkci pro obecný posun pera a papíru po výkrese. Druhou velkou skupinu podprogramů tvoří rutiny pro přijímání a zpracování znaků přijatých komunikačním rozhraním, jejich sestavování v celé příkazy a provádění na jejich základě příslušné úkony.

4.1.2 Ovládací panel na grafické jednotce

Z původního doplňkového ovládacího panelu umístěného na pravé straně grafické jednotky jsou v nynější verzi programu využity dvě sousední tlačítka z celkového počtu tří, a to k účelu stejnému jako před rekonstrukcí, tedy k ručnímu posuvu papíru v obou směrech určenému především k prvotnímu zasunutí listu do přístroje pod pero a po následném dokončení procesu

kreslení opět k vyjmutí papíru z grafické jednotky. Toto je programově řešeno následovně: Stiskem jednoho z těchto dvou tlačítek dojde k přerušení vlivem změny stavu na některém z pinů, ke kterým jsou tlačítka připojena, a u nichž je funkce vyvolání přerušení při změně stavu zapnuta. Přerušením dojde k zavolání podprogramu, který průběžně zjišťuje, které z tlačítek je stisknuto, tedy kterým směrem motorkem pro posuv papíru otáčet, a také zda je tlačítko stále stisknuto a je žádáno v posuvu pokračovat, či již nikoliv. Při takovémto ručním posuvu papíru nedochází ke změně, čísel aktuálních absolutních souřadnic, které si grafická jednotka uchovává a využívá je při zpracovávání příkazů vyžadujících posuv.

Z ovládacího panelu jsou rovněž využity dvě ze tří LED diod, z nichž funkce jedné, indikující zapnutý stav, zůstala zachována a funkce druhé, dříve kopírující stav signálu původního komunikačního rozhraní indikujícího připravenost grafické jednotky k dalšímu úkonu, byla pouze upravena k účelům nové řídicí logiky. LED dioda svítí v případě, že je grafická jednotka aktuálně zaneprázdněna, tedy právě probíhá posun pera či papíru, nebo je vykonávána komunikace mezi počítačem a grafickou jednotkou, případně zpracovávána přijatá data. Nesvítí v případě, že je grafická jednotka v klidu a rovněž také v situaci, kdy je vykonáván kreslicí skript a grafická jednotka v danou chvíli pouze čeká na odezvu programu v počítači, tedy odeslání dalšího znaku jednotce.



Obr. 4.1.2.1 – ovládací panel grafické jednotky XY4140.

4.1.3 Řízení cívek krokových motorků

Pro pohyb po obou osách grafické jednotky jsou použity krokové motorky SMR 300-100-RI/24 obsahující 4 vinutí. Pro přesnější krokování papíru a pera, kdy jeden krok je roven posuvu o jednu desetinu milimetru je využito půlkrokování. Při tomto způsobu řízení, označeném v dokumentaci k motorkům jako řízení osmitaktní, je avizován nejvyšší rozběhový kmitočet 560 Hz, tento tedy také pro buzení motorků využívám. Teoreticky by bylo dalším plynulým zvyšováním kmitočtu při posuvech na delší vzdálenosti po výkrese možno využít až maximálního provozního kmitočtu 1700 Hz, toto zde ovšem realizováno není.

Aktuální poloha obou motorků po inicializaci a dále kdykoliv za běhu programu je v mikrokontroléru reprezentována šestnáctibitovým číslem uloženým v jednom z uživatelských registrů paměti RAM, při čemž poloha každého z motorků zaujímá jeden ze dvou bajtů čísla. Každý bit pak reprezentuje jednu z osmi poloh motorku v rámci jednoho cyklu spínání jednotlivých vinutí. Z každé osmice bitů pak samozřejmě může být nastaven na hodnotu jedna vždy jen jeden z nich.

Jestliže některá z funkcí zajišťujících pohyb pera či papíru vyžaduje pootočení motorků do jiné, k aktuální poloze sousední, polohy, vygeneruje požadované poloze odpovídající šestnáctibitové číslo ve výše zmíněném formátu a předá jej podprogramu zajišťujícímu právě primárně buzení motorků. Tato rutina předané číslo analyzuje a vygeneruje druhé, již jen osmibitové číslo, kde už stav každého jednotlivého bitu reprezentuje stav pod proudem či bez proudu každé ze čtyřech vinutí obou motorků, celkem tedy osmi cívek. Těmito osmi bity je následně naplněn v hardwarové části zmíněný posuvný registr a nakonec jsou hodnoty předány jeho fyzickým výstupům, tím sepnuty či rozepnuty příslušné budicí tranzistory a ve výsledku nastaveny motorky pohonů obou os do požadovaných poloh.



Obr. 4.1.3.I – krokový motor SMR300-100-RI/24.

4.1.4 Základní podprogram pro pohyb po ploše výkresu

Veškeré pohyby v obou osách, vyjma ručního posuvu papíru, zajišťuje rutina, které jsou předány hodnoty obou souřadnic vyjádřené v desetinách milimetrů za pomoci dvou pracovních registrů. Tato pak vykoná takový rovnoměrný přímočarý pohyb pera vůči papíru, aby trajektorie pohybu z původní polohy na požadované souřadnice byla nejkratší možná, při čemž je uvažován minimální možný jednorázový krok motorků roven jedné desetině milimetru.

Nejprve je zjištěno, zda přijaté parametry mají být chápány jako souřadnice relativní vůči aktuální poloze či absolutní. V případě, kdy mají být souřadnice chápány jako absolutní, je nutno vypočítat rozdíl mezi polohou aktuální a požadovanou v obou osách a vyhodnotit tak požadovaný směr pootočení obou motorků. Pokud jde o souřadnice relativní, je toto již prakticky vypočteno souřadnicemi samotnými.

Následně je zjištěn charakter požadovaného pohybu ve smyslu obou os. Může jít o jednoduchý pohyb pouze po jedné z os v případě, kdy je jedna ze zadaných souřadnic shodná s její hodnotou aktuální. Rovněž nemusí dojít k žádnému pohybu, pokud jsou shodné s aktuálními obě požadované souřadnice. Nakonec je zde nejčastější případ, kdy je nutno vykonat synchronizovaný pohyb po obou osách. Tehdy je postup definován rovnicí odvozenou z obecné rovnice přímky procházející počátkem souřadnicového systému, tedy

$$x = \frac{y}{k}$$

Vzorec 4.1.4.I

pokud je celkový posun po ose y větší než celkový posun po ose x , či

$$y = \frac{x}{k}$$

Vzorec 4.1.4.II

pokud je celkový posun po ose x větší než celkový posun po ose y , případně

$$x = y$$

Vzorec 4.1.4.III

pokud je počet potřebných kroků v obou osách shodný, tedy $k = 1$, tedy má být nakreslena úsečka pod úhlem 45° k obou osám.

Část podprogramu je tedy tvořena smyčkou, kdy jedno její opakování je rovno jednomu kroku motorku té osy, jejíž celkový požadovaný posun je větší. Dále je pak vždy dopočtena poloha osy druhé, při čemž pokud dojde i v poloze druhé osy dle provedeného výpočtu k inkrementaci či dekrementaci polohy, je současně s krokem motorku první osy proveden i krok motorku osy druhé. Pohyb motorků je prováděn voláním výše popsaného podprogramu pro řízení cívek krokových motorků, při čemž je mu vždy předáván parametr s novou požadovanou polohou motorků. Tato smyčka dále obsahuje volání rutiny pro prosté vyčkávání o délce cca 1,792 ms, což při použité rychlosti mikrokontroléru 16 Mi/s zajišťuje maximální možný kmitočet krokových motorků 560 Hz. Na konci této smyčky je vždy provedeno šetření, zda jsou již aktuální souřadnice shodné se souřadnicemi požadovanými, a v případě kladného vyhodnocení je provádění smyčky a následně celé rutiny ukončeno.

Tato rutina se pak používá jak pro prostý pohyb mezi jednotlivými body výkresu při zdvihnutém peru, tak pro kreslení úseček při peru přitlačeném na plochu papíru.

4.1.5 Možnosti automatického kreslení dalších rovinných útvarů

Kreslení jakýchkoliv rovinných útvarů složitějších než úsečka může být realizováno v podobě n -úhelníku s minimální délkou strany rovnou minimálnímu kroku v každé jednotlivé ose, tedy 0,1 mm, nebo minimálnímu kroku při současném pohybu obou os, tedy $\sqrt{0,02} \doteq 0,14\text{mm}$. Takto malým krokováním vytvořená křivka se pak prakticky jeví jako hladká.

Zde se nabízí možnosti tvořit obrovskou škálu rutin pro kreslení veškerých geometrických útvarů definovaných jejich nejružnějšími parametry. Tyto rutiny by pouze zpracovávaly vstupní

parametry na příslušné souřadnice, které by pak dále byly předávány výše popsané funkci pro obecný posun, a ta by zajišťovala samotnou kresbu obrazce vždy po jednotlivé úsečce.

Nejjednoduššími takto automaticky vykreslovanými obrazci by mohly být obecně n-úhelníky zadané jednotlivými vrcholy, dále pak na zpracování dat o něco složitější pravidelné n-úhelníky zadané např. pouze minimálním počtem sousedních vrcholů, či trojúhelníky, rovnoběžníky a lichoběžníky zadané různými pro ně typickými parametry, a nakonec nejsložitěji zpracovatelné vlastní kuželosečky.

Za příklad těchto možností byla realizována zkušební verze rutiny pro vykreslení kružnice při zadání poloměru. Výpočty souřadnic zde jsou založeny na rovnici kružnice

$$x^2 + y^2 = r^2$$

Vzorec 4.1.5.I.

Jde o čtyři po sobě jdoucí smyčky, kdy každá z nich zajišťuje vykreslení jednoho kvadrantu kružnice. Průběh každé jednotlivé smyčky je podobný se smyčkou při vykreslování úsečky. Jedna ze souřadnic je vždy pravidelně inkrementována při každém opakování smyčky, druhá souřadnice je pak dopočítávána dle vzorce

$$y = \sqrt{r^2 - x^2}$$

Vzorec 4.1.5.II.

Za pozornost zde stojí rutina pro výpočet odmocniny, ta pracuje pouze s přirozenými čísly, nicméně pro dané účely toto postačí. Rutina pro výpočet odmocniny pracuje na principu dělení odmocňovaného čísla postupně všemi přirozenými čísly a výsledek porovnává s dělitelem. V okamžiku, kdy je rozdíl mezi podílem a dělitelem minimální, je dělitel považován za výsledek odmocniny.

```
;Bere hodnotu z W13:W12 a do W11 ukládá výsledek
Odmocnina:
    clr          W10
zp:  inc        W10,W0
    mov          W0,W10
    repeat      #17
    div.ud      W12,W10
    cp          W0,W10
    btss        SR,#3
    goto        zp
    dec         W10,W11
    RETURN
```

Kód v JSA pro mikrokontrolér, výpočet odmocniny s přirozeným základem i výsledkem.

4.2 Konečná volba a realizace komunikačního rozhraní

Přestože bylo v původním návrhu počítáno s využitím komunikačního rozhraní USB, které je rovněž implementováno v použitém mikrokontroléru, v momentě samotné realizace po prostudování podrobnějších specifikací pro zprovoznění komunikace po tomto rozhraní mezi mikrokontrolérem a počítačem, a zároveň zvážení zejména časové náročnosti programové implementace bylo od tohoto záměru upuštěno.

Za neméně zajímavé, ne-li zajímavější, ve srovnání s původně uvažovaným USB byla jako další varianta shledána sériová komunikace dle standardu RS-232, ne však v kabelovém provedení, ale v podání bluetooth modulu OEMSPA310 výrobce ConnectBlue. Grafickou jednotka bude tedy s řídícím zařízením, počítačem, komunikovat bezdrátově. Mezi mikrokontrolérem a bluetooth modulem pak budou data přenášena pouze za pomoci dvou vodičů přenášejících signály Rx a Tx, stejně tak ze strany programu v počítači bude komunikace chápána jako standardní sériová. Výhodou použitého modulu je rovněž shodné napájecí napětí s mikrokontrolérem, tedy 3,3 V, a tudíž odpadá řešení jakýchkoliv převodů napětíových úrovní, kterýžto problém alespoň částečně v případě použití USB komunikace přítomen byl.

Jak z důvodu rozhodnutí o změně komunikačního rozhraní oproti původnímu návrhu, tak z důvodu dalších dílčích úprav, které byly praxí shledány jako vhodné, bylo přistoupeno také k výrobě nové desky plošných spojů pro řídící elektroniku a koncové budiče. Tímto bylo docíleno jednak zjednodušení desky a jednak přizpůsobení pro integraci bluetooth modulu.

Sériová komunikace je ze strany grafické jednotky resp. mikrokontroléru resp. bluetooth modulu nastavena na rychlost 9600 Bd, využití 8 datových bitů na jeden znak a jednoho stop bitu, kontrola parity není využívána. Shodně pak musí být samozřejmě nastaveno i druhé zařízení, komunikační program v počítači.

Prvotní test funkčnosti komunikace byl proveden prostým přeposíláním přijatých znaků mikrokontrolérem. Z počítače byly znaky odesílány za pomoci programu View Com 2.3 a rovněž jím přijímány zpět.

4.3 Soudobý vývoj programů pro mikrokontrolér a Windows

Ve chvíli, kdy je plně funkční spolupráce mikrokontroléru s veškerou další elektronikou grafické jednotky a rovněž je ověřena funkčnost komunikace mezi mikrokontrolérem a počítačem, je možno začít s výrobou programu pro počítač, v mém případě pro operační systém Windows. Toto se neobejde bez současně probíhajících dalších prací na programu mikrokontroléru, případně mohou být dokonce vyžádány dodatečné úpravy elektroniky.

4.3.1 Řízení datového toku komunikačním rozhraním

Pro řízení grafické jednotky by v principu stačila simplexní, tedy jednosměrná, komunikace. Grafická jednotka potřebuje pro svou činnost data v podobě HPGL příkazů pouze přijímat. Protože je však kapacita vytvořeného datového spojení mezi počítačem a grafickou jednotkou pro daný účel více než dostatečná, bylo využito spojení duplexního, při čemž je tak možno nejen kontrolovat, kdy již grafická jednotka dokončila předchozí činnost a je připravena

přijímat nová data, ale také ověřovat, zda počítačem odeslaná data přijal mikrokontrolér v pořádku.

Celý tento proces je ve výsledku řešen velice jednoduše. Jakmile mikrokontrolér přijme znak, který očekává, tedy jde o znak, který v dané situaci může být počátečním, případně některým dalším, jestliže mu již předcházely znaky jiné, písmenem některého z podporovaných HPGL příkazů, nejprve jej zpracuje, což obnáší buď přesun do určitého místa v programu nebo již vykonání příslušného příkazu, pokud šlo o znak v daném příkazu poslední, a poté pro kontrolu a zároveň jako oznámení, že již jednotka není zaneprázdněna a očekává další data, odešle stejný znak zpět programu v počítači. Jestliže mikrokontrolér obdrží znak neočekávaný, nezařaditelný k žádnému příkazu, a tedy nezpracovatelný, odešle zpět programu v počítači znak hvězdičky.

4.3.2 Implementace nezbytných HPGL příkazů

Pro počáteční testování řízení grafické jednotky pomocí HPGL příkazů byla zkušebně do mikrokontroléru implementována obsluha prvních, pro účely této grafické jednotky základních klíčových, dvou příkazů. Jde o příkazy PUx, y ; a PDx, y ; , z nichž první provede zvednutí pera a přesun na zadané souřadnice x, y a druhý přitlačení pera na výkres a následně rovněž posun na zadané souřadnice. Prozatím jde vždy o souřadnice absolutní.

4.3.3 První, testovací verze programu pro Windows

Aby bylo možno začít se zkušebním provozem grafické jednotky již dle celých HPGL skriptů, bylo nutno po zprovoznění komunikace a implementace základních HPGL příkazů do programu mikrokontroléru ještě vytvořit program běžící pod operačním systémem Windows, jenž má za úkol číst HPGL skripty a dle požadavků grafické jednotky jí je reprodukovat.

Pro vývoj tohoto programu bylo zvoleno vývojové prostředí Microsoft Visual C# 2005. Výsledná aplikace je typu Windows Form a je psána v jazyce C#.

Aplikace ve své první verzi je tvořena jedním formulářem a vybavena možnostmi pro připojení se k příslušnému komunikačnímu portu, polem pro vložení HPGL kódu, jehož vykonání je žádáno, a tlačítkem začátku odesílání kódu grafické jednotce a tím spuštění samotného procesu vykreslování požadovaného obrazce grafickou jednotkou.

4.3.4 Prvotní testování s HPGL skripty

Pro první zkoušky chování se grafické jednotky dle HPGL skriptů bylo vybráno několik skriptů vykreslujících obrazec pouze na základě výše uvedených dvou prozatím implementovaných HPGL příkazů. Tyto skripty byly navíc upraveny níže popsáním pro tyto potřeby vlastnoručně vytvořeným skriptem za účelem přizpůsobení souřadnic resp. měřítka mezím výkresu A4, tedy maximálním počtům kroků v obou osách v rámci papíru formátu A4 vloženého do grafické jednotky XY4140.

Na základě několika více či méně úspěšně a správně vykreslených výkresů bylo zjištěno, že při větších posunech, řádově v délce centimetrů a více, se posun provede zdánlivě korektně a další části obrazce prakticky přesně navazují. Při posunech menších, převážně v řádech milimetrů či jejich desetin, však povětšinou nedojde k dojetí pera či papíru přesně na

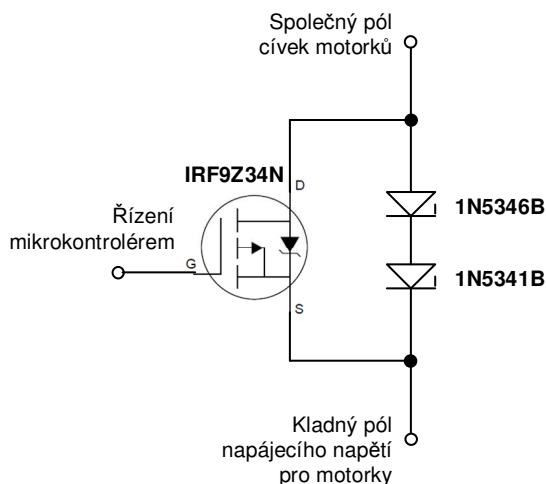
požadované souřadnice a jednotlivé části obrazce před a po takovýchto nevysílených posunech na sebe nenavazují správně, což se projeví především po několika takovýchto posunech po sobě následujících. Toto bylo, jak se později ukázalo správně, přičeno způsobu řízení krokových motorků, a to konkrétně faktu, že vinutí krokových motorků byla napájena pouze za chodu motorků. Ihned po dokončení posledního kroku řídicí elektronikou bylo napájení motorků vypnuto. Rotor motorku pak vlivem setrvačných sil po ukončení posunu nezůstal v přesné požadované poloze, ale docházelo k jeho vychýlení.

4.3.5 Dodatečná úprava buzení krokových motorků

První z úvah o řešení výše uvedeného problému s buzením krokových motorků byla možnost nevypínat napájení motorků vůbec, tedy napájet nepřetržitě příslušná vinutí motorků ve stavu, kdy se jednotlivé osy neotáčejí stejně jako při jejich chodu. Test této varianty úspěšně a úplně vyřešil problém s nepřesně prováděnými posuny v obou osách. Bylo však zjištěno podstatně zvýšené zahřívání motorů, které se už tak v únosné míře projevilo v první variantě buzení, což je logickým následkem po mnohem delší čas protékajícího proudu určitými vinutími motorků a tedy zvýšeného ztrátového výkonu na vinutích a předřadných rezistorech v motorcích.

Nakonec bylo přistoupeno ke kompromisu, kdy v nehybném stavu jsou příslušná vinutí udržující motorky dostatečnou silou ve stabilní poloze napájena sníženým napětím, čímž je také snížen jimi protékající klidový proud a tudíž také podstatně tepelný ztrátový výkon na motorcích. Omezení napětí do vinutí motorků je docíleno vložením sériové kombinace Zenerových diod (jediná dioda nebyla použita z důvodu nutnosti rozložení ztrátového výkonu na jednotlivé diody), skrze které jsou vinutí motorků v klidovém stavu napájena. Před tím, než se příslušný motorek má uvést do pohybu, je napětí pro motorky zvýšeno na plnou hodnotu sepnutím tranzistoru, jímž jsou zmíněné Zenerovy diody překlenuty. Po provedení pohybu je tranzistor opět rozepnut a napětí cívek se opět sníží.

Jak již bylo zmíněno v kapitole o návrhu buzení motorků, použitím unipolárních tranzistorů na místě budičů cívek krokových motorků došlo rovněž k lehkému zvýšení napájecího napětí všech akčních cívek. Po praktických zkušenostech při delším nepřetržitém provozu grafické jednotky, kdy bylo zjištěno poměrně vyšší zahřívání motorků, bylo toto navíc vykompenzováno přidáním rezistorů přímo do série se sekundárním vinutím, napájecím motorky, síťového transformátoru.



Obr. 4.3.5.I – schéma obvodu pro řízení napájecího napětí motorků.

4.3.6 Dokončení programů pro mikrokontrolér a pro Windows

Na základě výše zmíněného testování provozu grafické jednotky na nejjednodušších HPGL skriptech byla konstatována jejich bezchybná interpretace mikrokontrolérem, a bylo tedy přistoupeno k implementaci dalších příkazů. Toto přineslo především podporu relativních souřadnic resp. možnost kdykoliv zadat posun se souřadnicemi absolutními stejně jako relativními k výchozímu bodu. Byl také implementován příkaz pro vykreslení kružnice dle zadaného poloměru, který odkazuje na výše popsanou rutinu pro vykreslování kružnice. Ta, jak již bylo řečeno, byla ovšem napsána pouze jako ukázková zkušební, nebyla tedy z časových důvodů úplně dořešena její univerzálnost.

<i>syntaxe příkazu</i>	<i>popis příkazu</i>	<i>popis parametrů</i>
PA $[x_1], [y_1], [x_2], [y_2], \dots [x_n], [y_n]$;	Přepne na absolutní zadávání souřadnic.	V případě, že za názvem příkazu následuje jeden či více párů souřadnic x, y , je dále proveden přesun či postupně provedeny přesuny na všechny tyto body.
PR $[x_1], [y_1], [x_2], [y_2], \dots [x_n], [y_n]$;	Přepne na relativní zadávání souřadnic.	
PD $[x_1], [y_1], [x_2], [y_2], \dots [x_n], [y_n]$;	Přitlačí pisadlo k papíru.	
PU $[x_1], [y_1], [x_2], [y_2], \dots [x_n], [y_n]$;	Zdvihne pisadlo.	
CI $[r]$;	Vykreslí kružnici o zadaném poloměru.	r – poloměr kružnice; omezení na 180 mm;

Tab. 4.3.6.I – HPGL příkazy implementované v nynější verzi programu mikrokontroléru.

Do uživatelsky příjemnější konečné verze byla dovedena také aplikace pro Windows, kde byly jednak v rámci okna uspořádány jednotlivé ovládací a informační prvky, jednak byla zlepšena intuitivnost ovládání, ošetřeny jednotlivé funkce blokováním jejich ovládacích prvků,

které v danou chvíli nelze použít, a také byly doplněny některé funkce, jak co se týče informovanosti uživatele, kdy je zobrazen průběh vykreslování daného skriptu včetně přibližného zbývajících času do dokončení celého skriptu, tak co se týče ovládání, kde byla doplněna např. funkce pozastavení provádění skriptu a následně možnost v něm kdykoliv pokračovat. Rovněž byla do zbylé části okna vložena stručná nápověda uložená v RTF souboru v adresáři aplikace, ze kterého je při každém spuštění načtena. Aplikace byla testována na operačním systému Microsoft Windows XP Professional verze 2002 s aktualizací Service Pack 3.

4.4 Skript pro úpravu HPGL souborů

Jak již bylo zmíněno výše, ne všechny HPGL skripty, které mi byly v době testování grafické jednotky k dispozici, byly vhodné pro rozsah souřadnic XY4140, právě naopak, většinu z nich bylo nutno k tomuto účelu upravit, a to nejlépe programově.

Protože výroba takového programu není primárně předmětem této práce a přímo nesouvisí s rekonstrukcí grafické jednotky, bylo využito znalostí jazyka PHP, a to především pro jeho z mého pohledu jednoduchost, a tudíž pohotovost a rychlost, s jakou jsem byl schopen v tomto jazyce potřebný skript vyprodukovat.

Skript pracuje následovně: Při spuštění je skriptu předán název textového HPGL souboru, zpravidla s příponou PLT, a číselná konstanta, kterou se mají podělit veškeré souřadnice u jednotlivých příkazů, tedy kolikanásobně menší co do počtu kroků má být výsledný vykreslený obrazec. Skript za svého běhu načte příslušný soubor, analyzuje jej ve smyslu jednotlivých souřadnic, a ty upraví dle zadaného měřítka. Dělením jednotlivých souřadnic se také vlivem zaokrouhlování na celá čísla může stát, že zaniknou malé posuny v řádech jednotek kroků, a tak se objeví dva nebo více shodných příkazů za sebou, což by kresbu zbytečně zpomalovalo a při použití fixu vytvářelo nežádoucí kaňky. Proto má také tyto duplicitní příkazy skript za úkol odstraňovat. Zadáním dělicí konstanty menší než 1 je také možno obrazec zvětšovat. Na konci jsou HPGL příkazy s upravenými souřadnicemi zapsány do nového souboru a zároveň skript informuje o maximálních hodnotách souřadnic v ose x i y , což může uživatel porovnat s mezemi grafické jednotky a případně ještě znovu upravit měřítko výkresu. V ose x , tedy v ose, po které se pohybuje samotné pero, je maximální možný počet kroků 1920, což odpovídá 19,2 cm. V ose y , po které se posouvá celý papír, je maximální doporučený počet kroků přibližně 2700, tedy 27 cm, ovšem zde záleží, jak daleko od okrajů chceme nechat grafickou jednotku kreslit a hlavně jak daleko byl ručně zasunut papír do jednotky před začátkem vykreslování příslušného HPGL skriptu.

5 Dosažené výsledky

Pro důkladné odzkoušení konečné funkce byly použity v první řadě vlastnoručně pro tento účel napsané HPGL soubory se sekvencemi všech implementovaných příkazů, pro odzkoušení absolutních a kladných i záporných relativních posunů, a celkově krátkých i dlouhých na sebe navazujících čar a přesnost při několikanásobném vracení pera do stejného bodu. Všechna tato úskalí byla shledána jako úspěšně zažehnána a dále probíhalo nové testování na již dříve, před odstraněním vady s buzením motorků, zkoušených skriptech. Tyto již byly rovněž vykresleny bezchybně a uspokojivě.

Nakonec byl za pomoci aplikace Total CAD Converter verze 1.1.74 proveden převod několika souborů DWG, tedy z produkce programu AutoCAD, do formátu PLT, tedy HPGL skriptů. Potřebná velikost výkresů zde byla nastavena pomocí měřítka již v aplikaci AutoCAD, což je nejvhodnější, je však možné toto provést také v aplikaci pro převod či výše popsaným vlastním skriptem. I vykreslení těchto prozatím nejsložitějších výkresů dle nejdelších HPGL skriptů na výkres formátu A4 bylo prováděno bezchybně. Jediným narůstajícím, avšak technicky v běžné praxi neomezujícím parametrem, je zde čas vykreslování daného výkresu, ten může v případě složitějších výkresů narůst do řádů několika desítek minut až jednotek hodin, při čemž dvě majoritní složky doby provádění kresby jsou samotná práce grafické jednotky v podobě pohybů po pracovní ploše a odezva aplikace v počítači na požadavek dalších dat.

Důležitý je v některých případech také výběr kreslicího nástroje. Vhodné a odzkoušené byly dva základní – tužka a fix. Při použití tužky je velkým kompromisem výběr tvrdosti tuhy. V případě použití tvrdosti větší je možno kreslit souvisle složitější výkresy aniž by došlo ke ztupení zprvu ostré tuhy a nežádoucímu zesílení čar. Kresba je pak však poněkud jemná a slabě viditelná, většího přítlaku držáku pisadla již totiž nelze dosáhnout. Měkčí tuhou pak samozřejmě dosáhneme výraznější kresby, dochází ovšem k velmi rychlému tupení tuhy. Jestliže použijeme ať již tenký či silnější fix, dosáhneme stabilní tloušťky čáry bez závislosti na množství již provedených čar. Pak je ale druhým větším či menším, dle typu fixu, problémem závislost tloušťky čáry na rychlosti pohybu fixu vůči papíru.

Ve všech HPGL souborech, které jsem měl k dispozici, bylo vykreslování veškerých oblouků řešeno po jednotlivých úsečkách, což je ovšem několikanásobně pomalejší, než např. výše popsaná rutina pro vykreslování kružnice přímo mikrokontrolérem. Na toto je pak potřeba brát ohled při použití jako pisadla fixu. V extrémním případě se pak totiž může stát, že při takto pomalém pohybu bude docházet k prosakování papíru a především rozpíjení jednotlivých čar.

Tato uživatelská chyba v podobě rozpíjení čar a prosakování papíru, dále pak chybné, příliš nízké uchycení pera v podobě několika nežádoucích slabých tahů, a nakonec i ještě ne zcela vyřešený problém s nepřesnými posuvy jsou vidět na výkresu v příloze „D4“.

Posledním důležitým poznatkem ze zkušebního provozu je vhodnost sledovat oteplení motorků při provozu, resp. doporučení nechat přístroj po delším provozu vychladnout na pokojovou teplotu. Ačkoliv při zkouškách nedošlo k poškození žádné součásti ani při cca hodinovém nepřetržitém provozu.

6 Závěr

Cílem práce byl návrh a realizace nového řídicího systému pro grafickou jednotku XY4140, a to takový, aby jej bylo možno využívat ve spolupráci s dnes běžně používanými počítačovými a komunikačními technologiemi. Dále byla požadována implementace podpory jazyka HPGL (HPGL/2) s výsledkem prezentovatelným vykreslením demonstračního výkresu jako produktu HPGL skriptu.

Na počátku celé práce byly nejprve podrobně prozkoumány původní součásti grafické jednotky XY4140 vyjma těch, které měly být s jistotou odstraněny, dále navržena a zvážena všechna možná řešení k realizaci. V realizační části proběhlo fyzické odstranění starých, dále nepotřebných součástí elektroniky grafické jednotky, převážně původní řídicí logika a výkonové budiče. Osazena byla deska plošných spojů s novou řídicí elektronikou jíž dominuje mikrokontrolér PIC24FJ64GB002 a po něm tranzistorové budiče IRF7303. Komunikace s okolím je zajištěna bezdrátově za pomoci bluetooth modulu OEMSPA310. V softwarové části byla implementována podpora některých základních příkazů HPGL, jež mají pro tuto aplikaci smysl, a to jednak za pomoci aplikace pro operační systém Windows běžící na počítači, se kterým grafická jednotka komunikuje, a jednak za pomoci programu mikrokontroléru. Aplikace pro Windows vždy odesílá části prováděného HPGL skriptu mikrokontroléru, a ten jednotlivé příkazy interpretuje a s pomocí mechaniky grafické jednotky je provádí.

Výsledkem realizace je možnost rýsovat na grafické jednotce XY4140 výkresy napsané v základech jazyka HPGL, a to dokonce výkresy převedené do tohoto formátu např. z populárního formátu DWG, produktu aplikace AutoCAD.

V principu by bylo možno přístroj využít i při výrobě desek plošných spojů, byla by však nutná úprava části šasi grafické jednotky, která nepočítá s vložením tvrdého média, jakým je cuprexit, pro kreslení na místo papíru.

Tato bakalářská práce pro mne byla nejen prací, ale mnohdy velmi zajímavou formou bližšího seznámení se s použitými technologiemi a jejich vyzkoušení v praktické aplikaci.

7 Použitá a nastudovaná literatura

- [1] *The Hp-Gl/2 and Hp Rtl Reference Guide: A Handbook for Program Developers (Hewlett Packard)*. 2nd ed. [s.l.]: Addison-Wesley, 1993. 388 s. ISBN-10: 0201633256. ISBN-13: 978-0201633252.
- [2] DUTRA, C. B. S. - MENDONCA, F. K. - SOUSA, G. C. - BONACORSO, N. G. Retrofitting of a plain table plotter for printed circuit boards prototyping. In *Power Electronics Conference, 2009. COBEP '09. Brazilian Sept. 27 2009-Oct. 1 2009, Bonito-Mato Grosso do Sul, Brasil*. IEEE Xplore, 2009. s. 1027-1032. ISSN 2175-8603. ISBN 978-1-4244-3369-8.
- [3] HRBÁČEK, Jiří. *Moderní učebnice programování mikrokontrolérů PIC 1. díl*. 1. vydání. [s.l.] : BEN – technická literatura, 2004. 96 s. ISBN 80-7300-136-5.
- [4] ULLMANN, Petr. *Virtuální muzeum osmibitových počítačů* [online]. 2006 [cit. 2011-04-29]. Xy4140.jpg. URL: <<http://osmi.tarbik.com/cssr/obrazky/xy4140.jpg>>.
- [5] ULLMANN, Petr. *Virtuální muzeum osmibitových počítačů* [online]. 2006 [cit. 2011-04-29]. Další příslušenství. URL: <http://osmi.tarbik.com/cssr/dalsi_prislusenstvi.html>.
- [6] ŠIMURDA, Juraj. *Digitron* [online]. 2007-01-04 [cit. 2011-04-29]. PMD, IQ151,SAPI,ONDRA,TNS,ATARI,DIDAKTIK,GAMA,PC,TESLA,ELEKTRONKY. URL: <<http://www.digitron.cz/periferie.htm>>.
- [7] *Wikipédia* [online]. 2011-02-06 [cit. 2011-04-29]. MOSFET. URL: <<http://sk.wikipedia.org/wiki/MOSFET>>.
- [8] HEINRICH, Adam. *Pandatron.cz : Elektrotechnický magazín* [online]. 2009-04-16 [cit. 2011-04-29]. Robot ovládaný přes Bluetooth. URL: <http://pandatron.cz/?740&robot_ovladany_pres_bluetooth>. ISSN 1803-6007.
- [9] *Pandatron.cz : Elektrotechnický magazín* [online]. c2000 - 2011 [cit. 2011-04-29]. Škola programování PIC-1. - 13. díl . URL: <<http://pandatron.cz/?elektronika&mi&page=15>>. ISSN 1803-6007.
- [10] *Knihovna bloků - bloky pro AutoCAD, Revit, Inventor : CAD Fórum* [online]. 2007-06-24 [cit. 2011-05-01]. Blok: Škoda 14 T- tramvaj (Kolejová). URL: <<http://www.cadforum.cz/catalog/block.asp?blk=1342>>.

8 Seznam příloh

Příloha A: Seznam použitých součástek pro výrobu poslední verze nové elektroniky.

Příloha B: Schéma zapojení poslední verze vyrobené desky osazené novou elektronikou.

Příloha C: Předloha desky plošných spojů poslední verze nové elektroniky.

Příloha D: Kopie výkresů, produktů testů grafické jednotky s novým řídicím systémem:

- 1 Síť pláště letadla, výsledek HPGL skriptu *AIR.PLT*.
- 2 Tramvaj Škoda 14T, převod z výkresu AutoCADu.
- 3 Kostra raketoplánu Columbia, výsledek HPGL skriptu *COLUMBIA.PLT*.
- 4 Půdorys bytu, elektroinstalace, záměrná ukázka několika chyb.

Příloha E: Obsah CD přiloženého k této práci.

Příloha A

Název součástky	pouzdro	hodnota	počet kusů	cena za všechny kusy
Rezistor	SMD 1206	0 Ω	2	4,00 Kč
Rezistor	SMD 1206	10 k Ω	4	8,00 Kč
Rezistor	22 x 9,5 x 9 mm	1,8 Ω	2	10,00 Kč
Keramický kondenzátor	SMD 1206	100 nF	3	6,00 Kč
Tantalový kondenzátor	SMD B	10 μ F / 6,3 V	1	3,00 Kč
Tantalový kondenzátor	SMD B	22 μ F / 6,3 V	1	5,00 Kč
Zenerova dioda	DO201	1N5341B	1	6,40 Kč
Zenerova dioda	DO201	1N5346B	1	4,80 Kč
Tranzistor	TO220AB	IRF9Z34N	1	15,50 Kč
Tranzistorové pole	SO8	IRF7303	5	75,00 Kč
Posuvný registr	SO16	74HC4094	1	5,40 Kč
Mikrokontrolér	SO28W	PIC24FJ64GB002-I/SO	1	125,00 Kč
Konektor - lámací lišta	-	S1G20W	1	5,40 Kč
Dutinka	-	KONPC-SPK-PI	13	6,50 Kč
Konektor - dutinka	-	KONPC-SPK-1	1	0,50 Kč
Konektor - dutinka	-	KONPC-SPK-2	2	2,20 Kč
Konektor - dutinka	-	KONPC-SPK-4	2	3,20 Kč
Přepínač	-	KNX-1	1	7,50 Kč
Chladič	-	V7100	2	10,80 Kč
Drobný spojovací materiál	-	-	-	10,00 Kč
Propojovací vodiče	-	AWG28-10H	1 m	10,70 Kč
Bluetooth modul	16 x 36 mm	OEMSPA310	1	732,00 Kč
Celková cena:				1 056,90 Kč

Ceny jsou uvedeny dle ceníku GM electronic platného k 1. květnu 2011 vyjma Bluetooth modulu, jenž byl zakoupen u firmy Spezial Electronic.

Seznam použitých součástek pro výrobu poslední verze nové elektroniky.

Příloha B

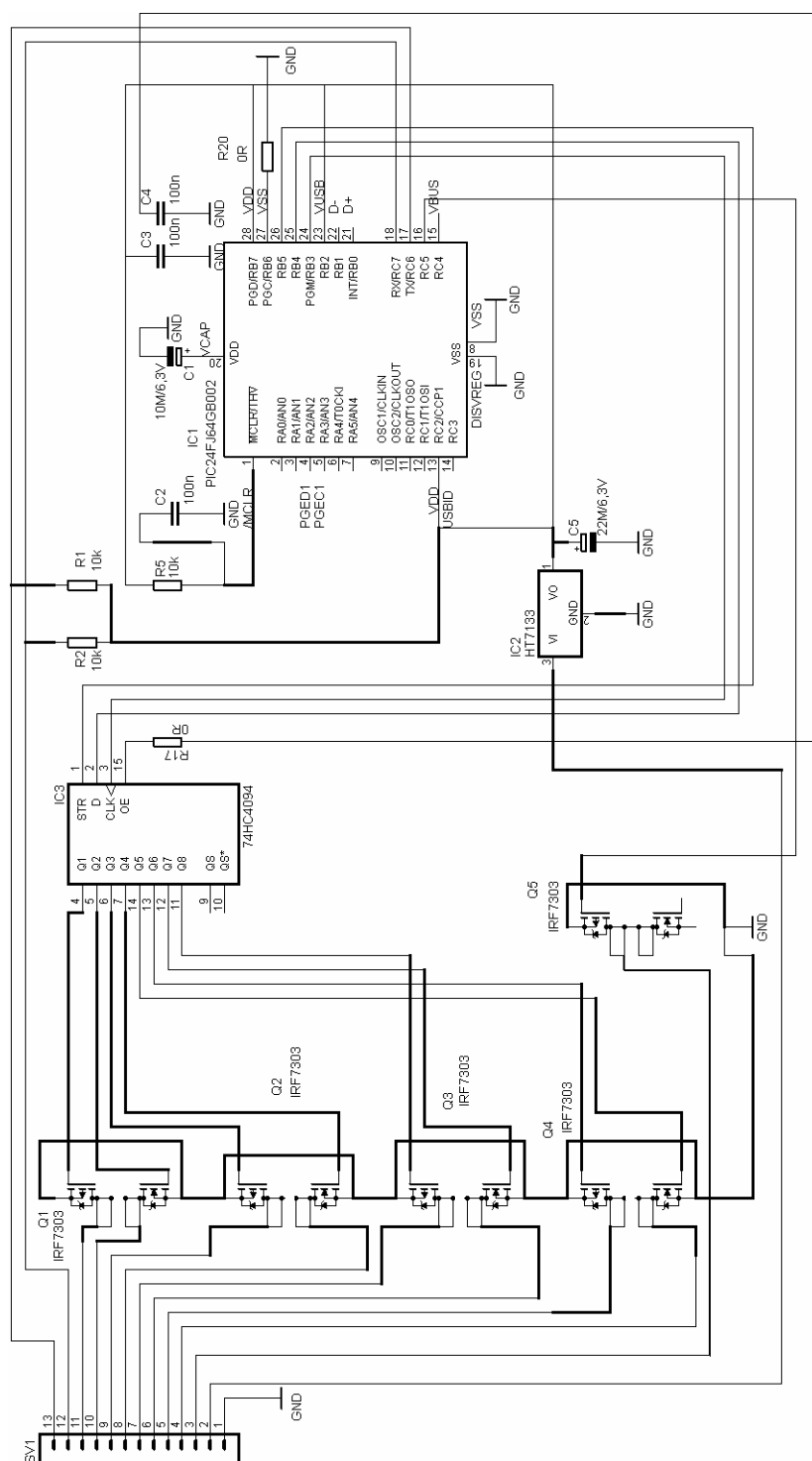
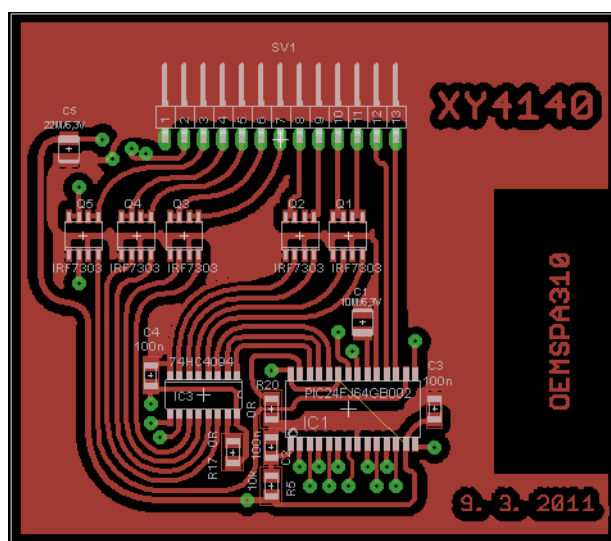


Schéma zapojení poslední verze vyrobené desky osazené novou elektronikou.

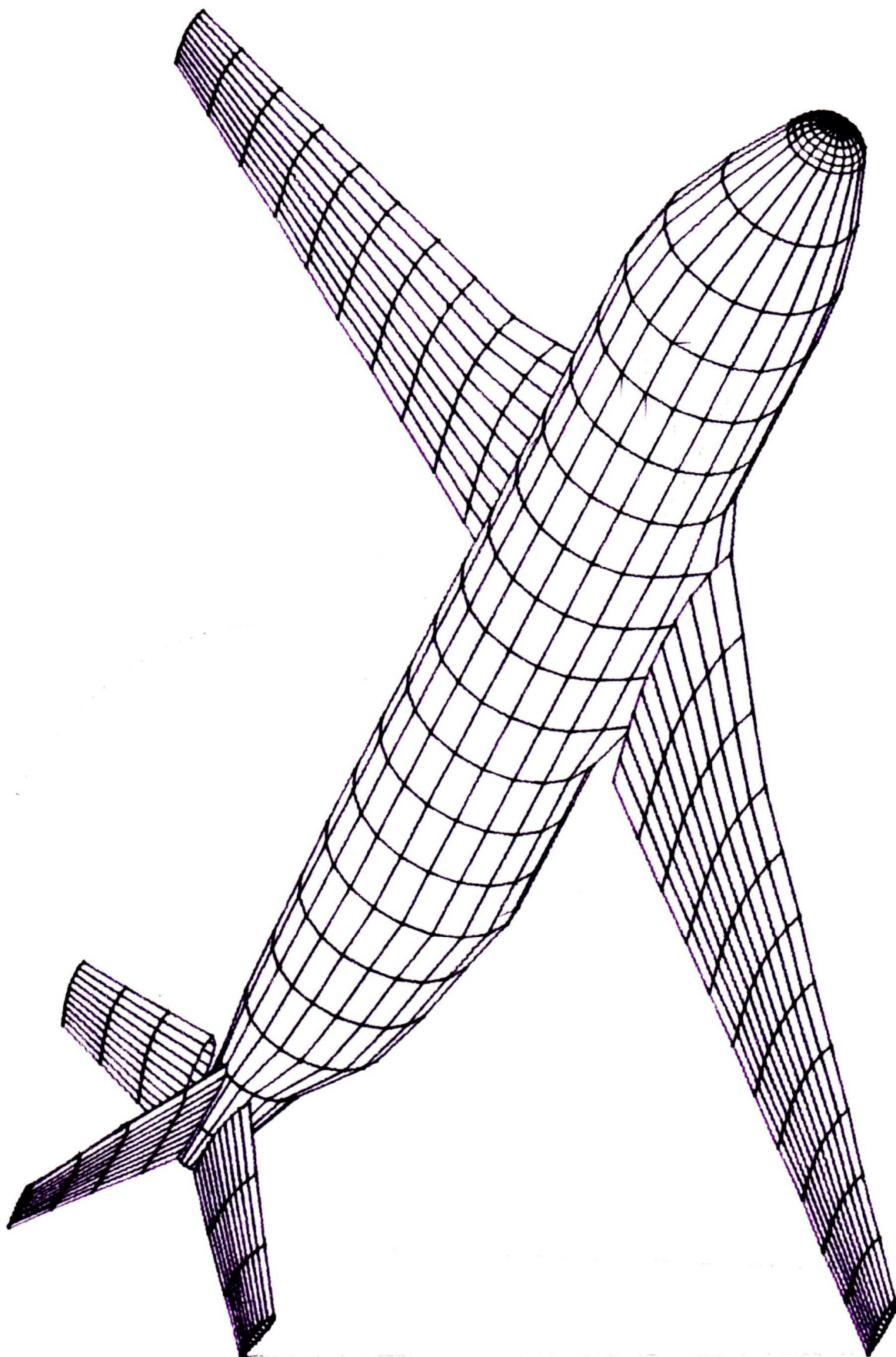
Příloha C



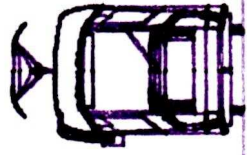
Předloha desky plošných spojů poslední verze nové elektroniky.

Příloha D

- Výkres D1: Zobrazuje síť pláště letadla. Výkres byl nakreslen dle souboru *AIR.PLT* (dostupný na příloženém CD, viz přílohu „E“), jenž byl před vykreslením upraven příloženým skriptem pro změnu měřítká. Vykreslení je téměř bez chyb, pouze se v několika málo případech objevily nežádoucí čáry vlivem zvlnění papíru, čímž nestačil v dané chvíli nastavený maximální zdvih pera.
- Výkres D2: Zobrazuje tramvajový vůz Škoda 14T. Výkres byl nakreslen na základě HPGL souboru, který byl vygenerován programem *Total CAD Converter* převedením z výkresu programu AutoCAD, souboru *Škoda_14_T-tramvaj.dwg* [10], navíc byl přidán text s názvem vozidla. Kromě závislosti tloušťky čar kreslených fixem na rychlosti posuvu zde není v kresbě žádná chyba.
- Výkres D3: Zobrazuje kostru raketoplánu Columbia. Výkres byl nakreslen dle souboru *COLUMBIA.PLT* (dostupný na příloženém CD, viz přílohu „E“), jenž byl před vykreslením upraven příloženým skriptem pro změnu měřítká. Samotná kresba je bezchybná, skript byl však zřejmě napsán pro jiný typ záznamového zařízení a obraz je zrcadlově překlopen.
- Výkres D4: Zobrazuje půdorys bytu se zakreslenou elektroinstalací. Výkres je zde záměrně umístěn s několika hrubými chybami vykreslování, které jsou blíže popsány v předposledním odstavci kapitoly 5.



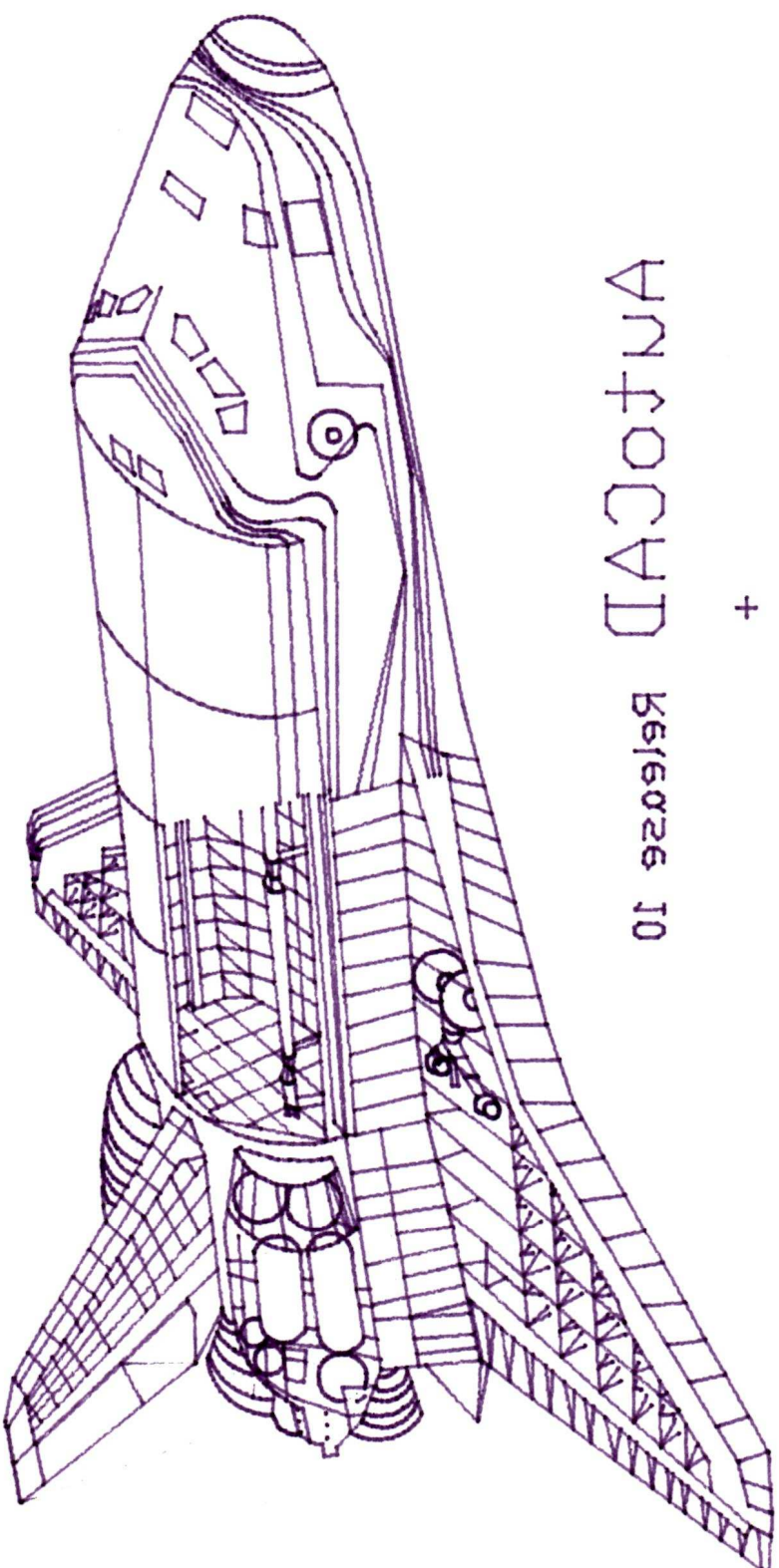
Škoda 14T



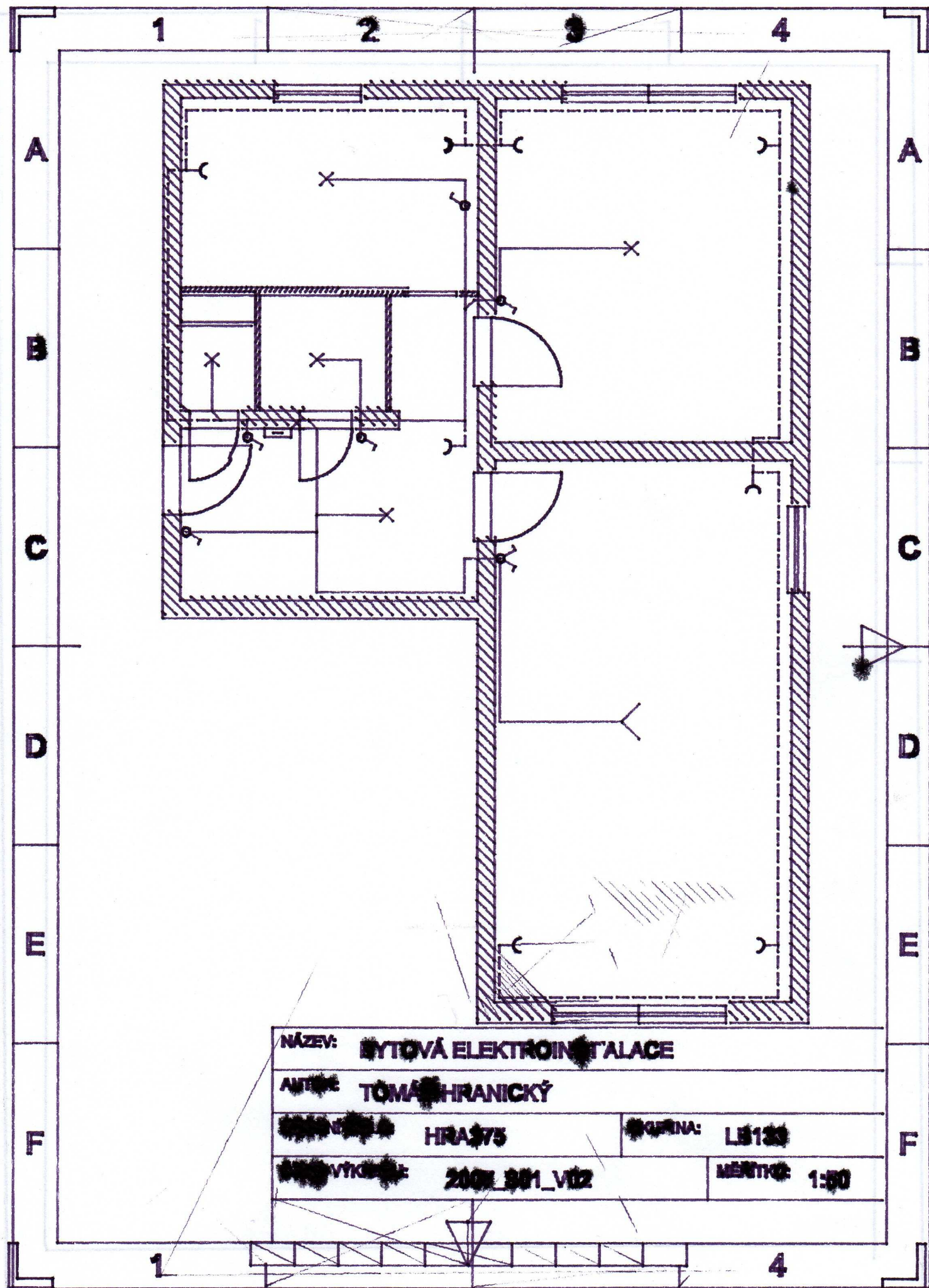
ALFIGRAE

+

ANTOCAD Release 10



INSTITUTO
NACIONAL
DE AERONAUTICA E ESPACIO
do BRASIL



Příloha E

Obsah jednotlivých adresářů na CD přiloženém k této práci:

- ***Aplikace pro Windows*** – aplikace pro Windows ve formátu projektu vývojového prostředí Microsoft Visual C# 2005 Express Edition.
- ***Bakalářská práce*** – tento dokument.
- ***Fotografie*** – fotografická dokumentace práce.
- ***Katalogové listy*** – katalogové listy, datasheety, všech důležitých použitých součástí.
- ***MCU*** – program pro mikrokontrolér ve formátu projektu vývojového prostředí MPLAB IDE v8.60.
- ***PLT*** – HPGL kódy všech přiložených a testovaných výkresů.
- ***Schéma, DPS*** – schéma zapojení a nákres desky plošných spojů ve formátu programu Eagle 5.7.0.
- ***Úprava HPGL skriptů*** – skript v jazyce PHP pro úpravu měřítka souborů s HPGL příkazy.
- ***Videa*** – videa ze zkušebního provozu grafické jednotky s novým řídicím systémem.
- ***Výkresy*** – Naskenované výkresy, produkty testů grafické jednotky s novým řídicím systémem.
- ***XY41xx*** – další dokumenty o grafických jednotkách řady XY41xx.